Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

Instytut Pojazdów
Samochodowych
i Silników Spalinowych
Zakład Silników Spalinowych

TEMAT PRACY:

„Testy stanowiskowe dwóch silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego"

ZLECENIODAWCA:

Frapol Sp. z o.o. z siedzibą w Krakowie, ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków

NR UMOWY:

M-04/242/2019/P

KIEROWNIK TEMATU:

dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK

DYREKTOR INSTYTUTU:

Dyrektor
Instytutu Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych
Dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof.PK

KRAKÓW, lipiec 2019 r.

1. PODSTAWA REALIZACJI PRACY

Podstawę wykonanej pracy stanowiła umowa nr M-04/242/2019/P z dnia 30.05.2019 r. o realizację projektu badawczego pt. *„Testy stanowiskowe dwóch silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego"*, zawarta między firmą **Frapol Sp. z o.o.** z siedzibą w Krakowie, ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków, a Politechniką Krakowską im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem projektu było:
Przedmiot umowy stanowi przeprowadzenie testów stanowiskowych silnika do gazowego agregatu trójgeneracyjnego w ramach Projektu, na warunkach wynikających z oferty złożonej w odpowiedzi na Zapytanie oraz na warunkach określonych w Zapytaniu i załącznikach do niego.

Zakres działań wyznaczony przez Zleceniodawcę, związanych z badaniem laboratoryjnym do wykonania przez Wykonawcę:

1. Zakup dwóch sztuk silnika wg wytycznych (np. Toyota 4Y), badania przeprowadzane na wybranym egzemplarzu.
2. Budowa stanowiska badawczego.
3. Opracowanie toru pomiarowego:
   - czujniki pomiarowe,
   - sondy badawcze,
   - system odczytu momentu / prędkości obrotowej.
4. Sporządzenie charakterystyk wyjściowych (charakterystyka obciążeniowa dla stałej prędkości obrotowej n=1500 1/min).
5. Mierzone parametry:
   - zużycie paliwa,
   - wartość momentu obrotowego,
   - emisja toksycznych spalin: CO, NOx, HC,
   - temperatura spalin,
   - temperatura powietrza w układzie dolotowym,
   - temperatura czynnika chłodniczego,
   - pomiar drgań i hałasu.
6. Badania eksploatacyjne i trwałościowe (przewidywany cykl pracy 100 h zgodnie z opracowanym profilem obciążenia silnika).
7. Sporządzenie charakterystyk po badaniach trwałościowych wg analogicznych wytycznych co pkt. 4.
8. Ocena jakości oleju przed i po badaniach eksploatacyjnych.
9. Opracowanie raportu z przeprowadzonych badań wraz z wnioskami.

Na podstawie przeprowadzonych badań raport musi wykazać spełnienie badań w zakresie:

1. Pomiary metrologiczne silnik.a
2. Prace kalibracyjne (optymalizacja parametrów silnika w celu utrzymania stabilnej i harmonijnej pracy w zmiennych warunkach).
3. Pomiary osiągniętych parametrów (hamownia, spaliny itp.).
4. Pomiary drgań i hałasu.
5. Próby trwałościowe (głównie w celu ustalenia czasu zużycia oleju oraz komponentów).
6. Pomiary metrologiczne po próbach trwałościowych.
7. Opracowanie raportu z badań.

Wytypowano wstępnie silnik Toyota 4Y dostosowany do zasilania gazem.

Tab.2.1. Harmonogram badań

l.p.	Temat zadania
1.	Zakup dwóch sztuk silnika wg wytycznych Zleceniodawcy (Toyota 4Y), wybór egzemplarza do badań
2.	Budowa stanowiska badawczego
3.	Opracowanie i zestawienie torów pomiarowych
4.	Uruchomienie sterownika silnika
5.	Sporządzenie charakterystyk wyjściowych
6.	Opracowanie metodyki badań i cyklu obciążenia silnika
7.	Badanie oleju silnikowego przed podjęciem badań trwałościowych
8.	Zasadnicze badania eksploatacyjne i trwałościowe
9.	Pomiary drgań i hałasu w trakcie badań eksploatacyjnych
10.	Sporządzenie charakterystyk po badaniach trwałościowych
11.	Badanie oleju silnikowego po wykonaniu badań trwałościowych
12.	Opracowanie wyników badań
13.	Sporządzenie sprawozdania z badań

3. OPIS METODYKI PROWADZONYCH BADAŃ

3.1. Charakterystyka techniczna silnika

Wybrany do badań silnik typu Toyota 4Y jest silnikiem stacjonarnym, przeznaczonym do napędu różnego typu maszyn przemysłowych. Charakterystyczną cechą tego silnika jest brak w wyposażeniu pompy cieczy chłodzącej oraz prądnicy, w związku z tym należy spodziewać się większej wartości sprawności mechanicznej i sprawności ogólnej. Silnik był zasilany gazem ziemny typ E o wartości opałowej $W_p = 33{,}13$ MJ/m^3.

Poddany badaniom egzemplarz silnika był przeznaczony do współpracy z generatorem prądu elektrycznego, w związku z tym był przeznaczony do pracy ze stałą prędkością obrotową, wynoszącą 1500 1/min.

W tabeli poniżej przedstawiono dane techniczne silnika wykorzystanego w prowadzonych badaniach.

Tab.3.1. Dane techniczne silnika Toyota 4Y

Rodzaj zapłonu	iskrowy
Układ cylindrów	Rzędowy
Liczba cylindrów	4
Średnica tłoka	91 [mm]
Skok tłoka	86 [mm]
Objętość skokowa	2237 [cm^3]
Geometryczny stopień sprężania	10,5
Kolejność pracy cylindrów	1-3-4-2
Rodzaj paliwa	gaz ziemny typu E
Znamionowa moc brutto	18 [kW]
Znamionowa prędkość obrotowa	1500 [1/min]
Maksymalny moment obrotowy brutto	136 [Nm]
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	800 [1/min]
Objętość układu wodnego silnika	4,8 [dm^3]
Objętość układu olejowego silnika	12 [dm^3]
Masa silnika	122 [kg]

3.2. Metodyka prowadzenia pomiarów

Badania doświadczalne przeprowadzono na hamowni silnikowej Zakładu Silników Spalinowych Laboratorium Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Silnik był zasilany gazem ziemnym z zestawu ciśnieniowych butli stalowych. Butle były napełniane gazem ziemnym typu E o wartości opałowej W_p = 33,13 MJ/m^3, w stacji ładowania w Krakowie przy ul. Balickiej.

Pełny zakres badań składał się z pięciu części:

1. Badania wstępne – sporządzenie charakterystyki wyjściowej silnika,
2. Zasadnicze badania eksploatacyjne i trwałościowe,
3. Badania drgań i hałasu,
4. Badania wybranych parametrów oleju silnikowego przed i po badaniach eksploatacyjnych,
5. Badanie końcowe - sporządzenie charakterystyki silnika po zakończonym cyklu badań eksploatacyjnych.

Ad. 1 Badania wstępne polegały na uruchomieniu systemu zasilania oraz identyfikacji pracy fabrycznego sterownika. Zestawiono tory pomiarowe i skalibrowano aparaturę badawczą. Wykonano wyjściową charakterystykę obciążeniową, którą sporządzono przed podjęciem właściwych badań eksploatacyjnych i trwałościowych. Zgodnie z zakresem badań,

wyznaczonym przez Zleceniodawcę, charakterystykę obciążeniową sporządzono podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową n = 1500 1/min i zmiennym obciążeniu.

Ad.2 Opracowano metodykę badań eksploatacyjnych i trwałościowych. Czas trwania pojedynczego cyklu badawczego wynosił 300 min (5h). Przyjęto stałą prędkość obrotową, wynoszącą n = 1500 1/min i następujący cykl obciążenia, typowy dla tego typu badań silników stosowanych w agregatach prądotwórczych.

1. Czas badania - 60- min, obciążenie – 10 kW, co stanowi ok. 50% obciążenia maksymalnego,
2. Czas badania - 120- min, obciążenie – 15 kW, co stanowi ok. 75% obciążenia maksymalnego,
3. Czas badania - 60- min, obciążenie – 20 kW, co stanowi ok. 100% obciążenia maksymalnego,
4. Czas badania - 60- min, obciążenie – 15 kW, co stanowi ok. 75% obciążenia maksymalnego.

Rys.3.1. Cykl obciążenia silnika Toyota 4Y

Całkowity badań eksploatacyjnych i trwałościowych składał się z 20 pojedynczych cykli badawczych i wynosił 6000 min (100 h).

Zapas gazu ziemnego zawarty w zestawie 5 butli stalowych (ciśnienie 200 MPa, objętość gazu ziemnego 50 Nm^3), pozwalał na wykonanie dwóch pojedynczych cykli pomiarowych, czyli 10 godzin badań eksploatacyjnych i trwałościowych.

Ad.3 W trakcie badań eksploatacyjnych i trwałościowych w wybranych punktach pracy przeprowadzono badania drgań i hałasu.

Ad.4 Przed przystąpieniem do badań pobrano próbkę oleju silnikowego z misy olejowej silnika (1 dm^3), a następnie uzupełniono stan świeżym olejem. Po zakończeniu badań eksploatacyjnych i trwałościowych ponownie pobrano próbkę oleju silnikowego z misy olejowej silnika (1 dm^3). Badania wybranych parametrów oleju zostały wykonane w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie.

Ad. 5 Po zakończeniu cyklu 100 godzin badań eksploatacyjno-trwałościowych ponownie wykonano charakterystykę obciążeniową silnika. Zgodnie z zakresem badań, wyznaczonym przez Zleceniodawcę, charakterystykę obciążeniową sporządzono podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową n = 1500 1/min i zmiennym obciążeniem.

3.3. Aparatura badawcza i pomiarowa

W trakcie badań rejestrowano podstawowe parametry pracy silnika, zgodnie z wymaganiami Zleceniodawcy:

- wartość momentu obrotowego,
- zużycie paliwa,
- emisja toksycznych spalin: CO, NOx, HC,
- temperatura spalin,
- temperatura powietrza w układzie dolotowym,
- temperatura czynnika chłodniczego,
- pomiar drgań,
- pomiar hałasu.

W prowadzonych badaniach użyto następującej aparatury badawczej i wspomagającej oraz następujących systemów pomiarowych:

1. Hamulec silnikowy - Schenck Engine Dynometer typ-W70
2. Tensometryczny czujnik siły – odczyt momentu obciążającego silnik,
4. Indukcyjny przetwornik kąta OWK wraz z odczytem prędkości obrotowej
5. Przepływomierz objętościowy dla gazów typu COX-CPG84-AN-C-C02-L
6. Sterownik silnika
7. Filtr powietrza układu wlotowego do silnika
8. Wymiennik ciepła płynu chłodzącego silnika
9. Zestaw analizatorów gazowych - typu Arcon-Oliver – K4500
10. Zestaw gazów kalibrujących i roboczych
11. Mechaniczny filtr oczyszczania powietrza
12. Wentylator zasysający gazy
13. Filtry zabezpieczające gazomierz
14. System pomiaru temperatury – termopary typu K i typu T, czujnik PT100:
    - T1 – Temperatura powietrza na wlocie do silnika
    - T2 – Temperatura spalin
    - T3 – Temperatura paliwa gazowego
    - T4 – temperatura cieczy chłodzącej
15. Zestaw akwizycji danych – National Instruments

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Obliczanie parametrów roboczych silnika

Moc efektywną silnika spalinowego można wyznaczyć z momentu obrotowego zmierzonego na hamulcu elektrowirowym, przy danej prędkości obrotowej wału korbowego:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9550}, \tag{4.1}$$

gdzie:
N_e – moc efektywna, [kW],
M – moment obrotowy silnika, [Nm],
n – prędkość obrotowa wału korbowego, [1/min].

Wyliczona moc efektywna oraz zmierzone godzinowe zużycie paliwa pozwalają na wyznaczenie jednostkowego zużycia paliwa:

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_{pal}}{N_e}, \tag{4.2}$$

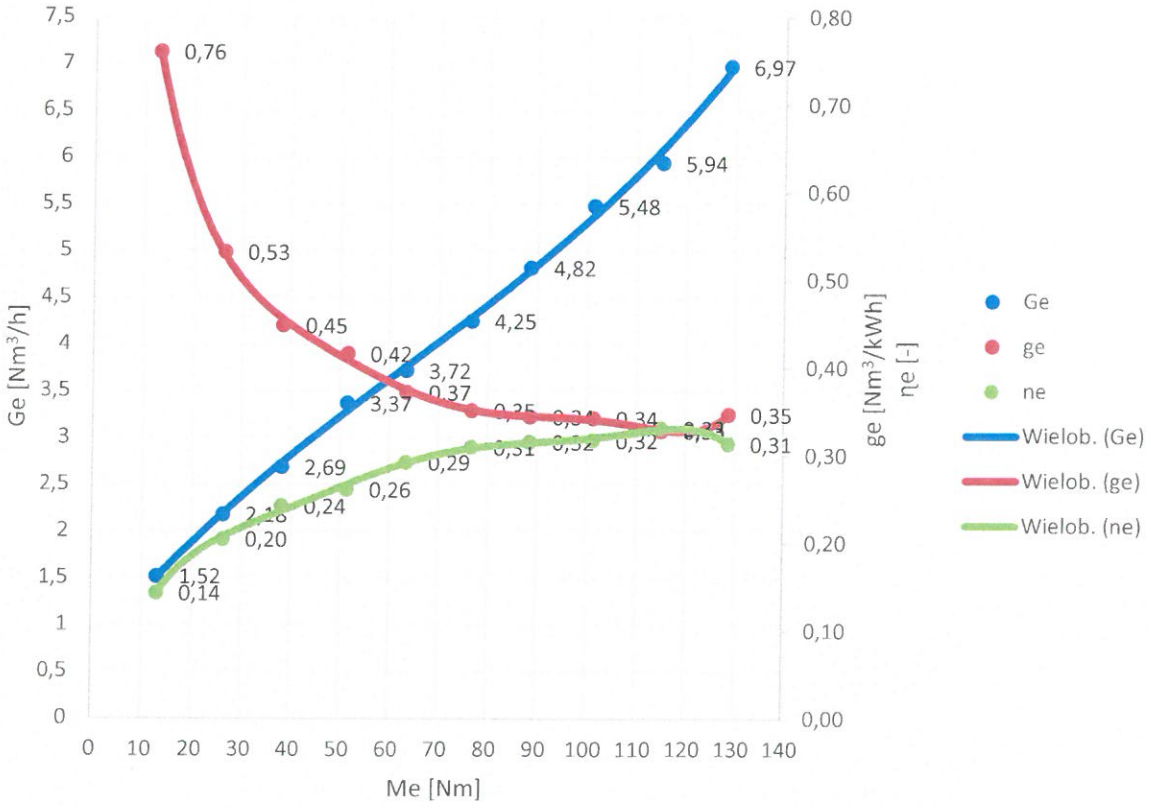
gdzie:
g_e – jednostkowe zużycie paliwa, [g/kWh],
G_{pal} – godzinowe zużycie paliwa, [kg/h],
N_e – moc efektywna, [kW].

Kolejnym parametrem, który można obliczyć jest sprawność ogólna silnika. Jest ona wyznaczana ze znanej dolnej wartości opałowej paliwa i obliczonego jednostkowego zużycia paliwa:

$$\eta_o = \frac{3600}{g_e \cdot W_d}, \tag{4.3}$$

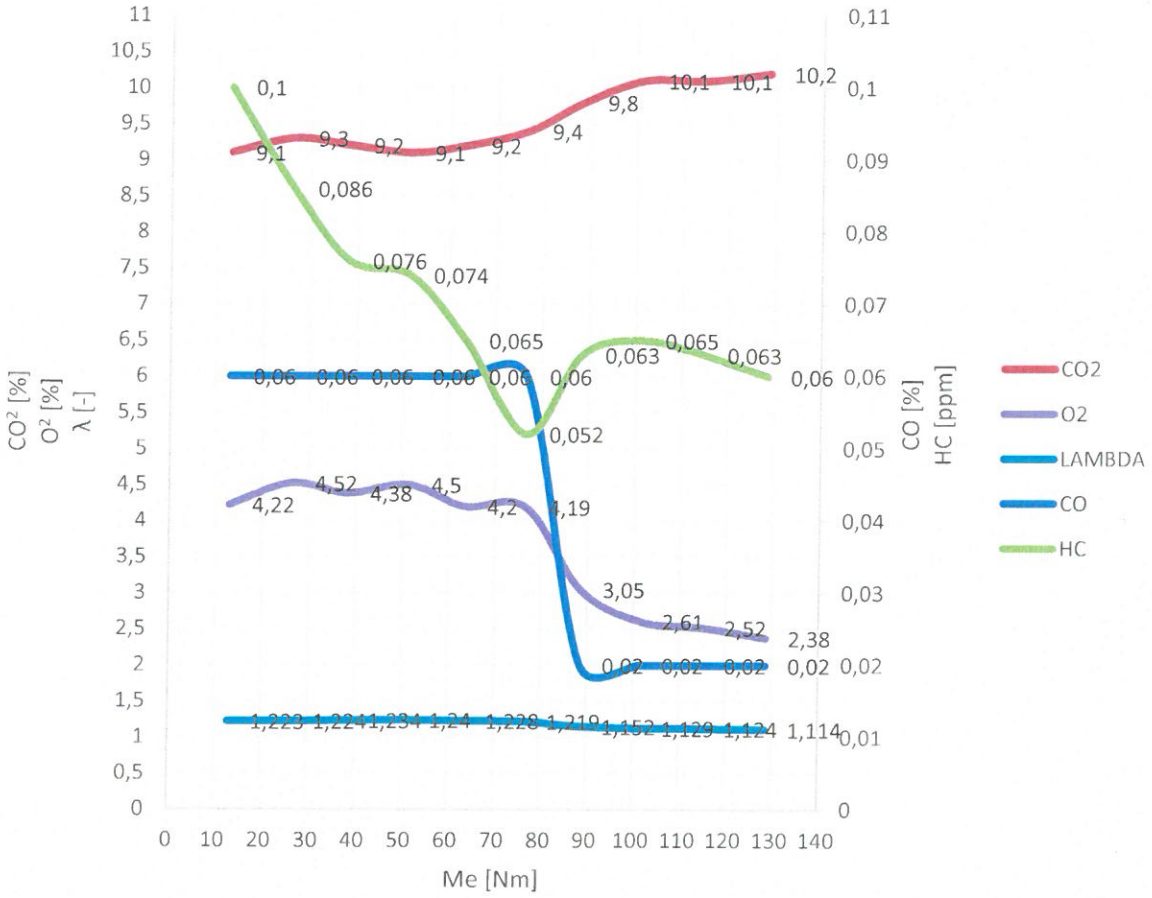
gdzie:
η_o – sprawność ogólna, [-],
g_e – jednostkowe zużycie paliwa, [g/kWh],
W_d – dolna wartość opałowa paliwa, [MJ/kg].

4.2. Wstępne badania silnika



Rys.4.1. Charakterystyka wyjściowa silnika Toyota 4Y (n = 1500 1/min)

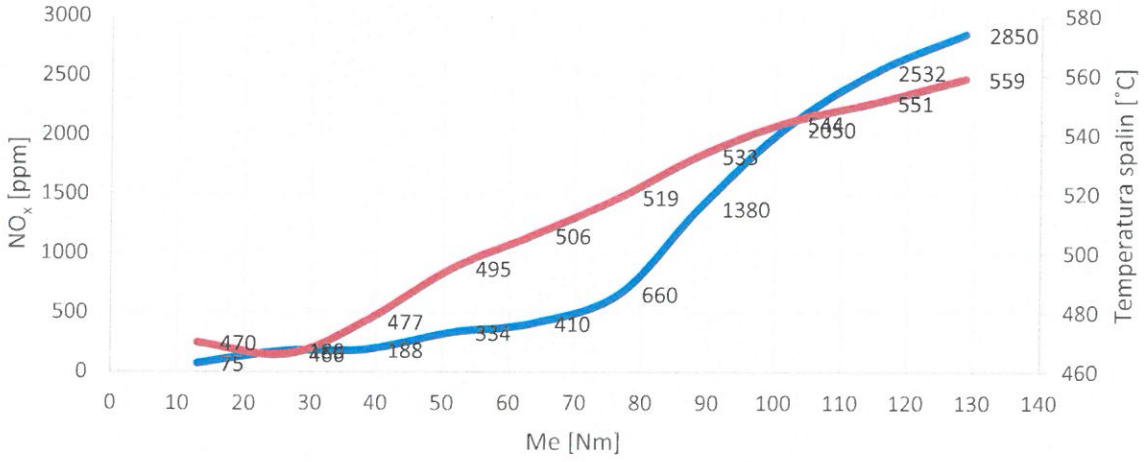
Na rys.4.1 przedstawiono wstępną charakterystykę obciążeniową badanego silnika Toyota 4Y przed przystąpieniem do cyklu badań zasadniczych. Na rysunku przedstawiono zależność przebiegu godzinowego zużycia paliwa (G_e – linia niebieska), jednostkowego zużycia paliwa (g_e – linia czerwona) oraz sprawności ogólnej (n_e – linia zielona). Zmierzone wartości parametrów silnika odpowiadają wartościom deklarowanym przez producenta silnika.



Rys.4.2. Przebieg stężenia wybranych składników spalin i przebieg współczynnika nadmiaru powietrza w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min)

Na rysunku 4.2 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego wybranych składników spalin oraz przebieg współczynnika nadmiaru powietrza podczas wstępnych badań silnika Toyota 4Y przed przystąpieniem do cyklu badań zasadniczych. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono zależność:

przebieg stężenia objętościowego dwutlenku węgla CO_2 (CO_2 – linia czerwona),
przebieg stężenia objętościowego tlenu O_2 (O_2 – linia fioletowa),
przebieg stężenia objętościowego tlenku węgla CO (CO – linia granatowa),
przebieg stężenia objętościowego węglowodorów HC (HC – linia zielona),
przebieg współczynnika nadmiaru powietrza λ (lambda) (λ – linia niebieska).



Rys.4.3. Przebieg stężenia tlenków azotu i przebieg temperatury gazów wylotowych w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min)

Na rysunku 4.3 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x oraz przebieg temperatury spalin, mierzonej bezpośrednio na wylocie spalin z kolektora wylotowego, podczas wstępnych badań silnika Toyota 4Y przed przystąpieniem do cyklu badań zasadniczych. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono zależność:

przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x (NO_x – linia niebieska),
przebieg temperatury gazów wylotowych (linia czerwona).

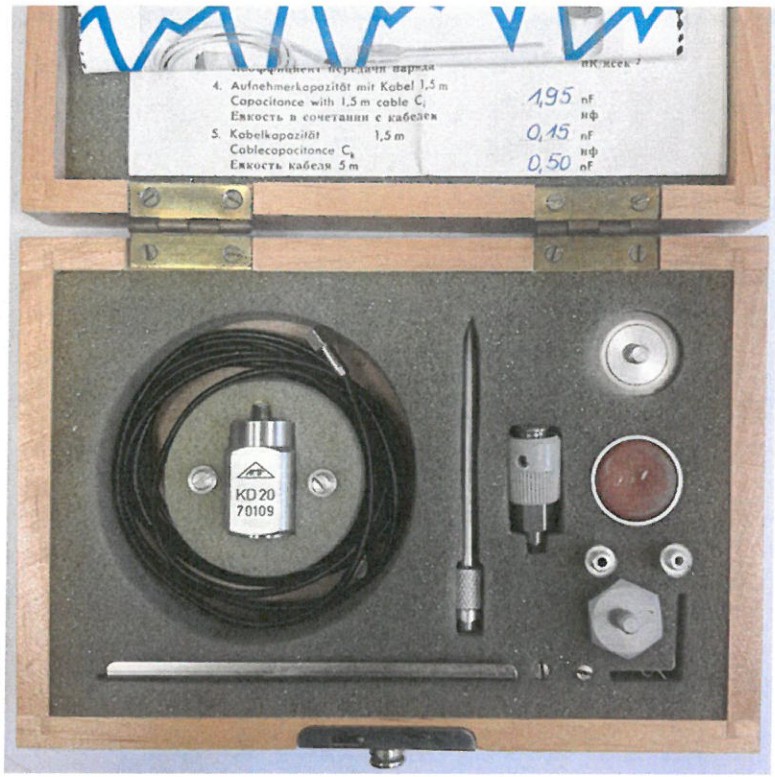
4.3. Pomiar drgań i hałasu podczas badań eksploatacyjno-trwałościowych silnika Toyota 4Y

W trakcie badań dokonano pomiaru drgań silnika, niezbędnego do dalszych prac związanych z dostosowaniem silnika do wymogów norm dotyczących drgań mechanicznych w środowisku pracy.

W opracowaniu określono maksymalne wartości przyśpieszeń w punktach pomiarowych silnika, przedstawiono składowe w osiach X, Y, Z oraz przeprowadzono analizę widmową drgań dla dwóch zakresów pasma pomiarowego 200Hz oraz 1kHz.

Przedstawiono charakterystyczne wielkości w postaci stabelaryzowanej oraz w postaci wykresów. Do opracowania założono pomiar w każdej z czterech podpór silnika dla stałej prędkości obrotowej 1500 obr./min. oraz dla trzech wielkości obciążenia 10 kW, 15 kW oraz 20 kW.

Do pomiaru drgań wykorzystano system pomiarowy wykorzystujący czujniki piezoelektryczne MMF KD20 rys.4.4.



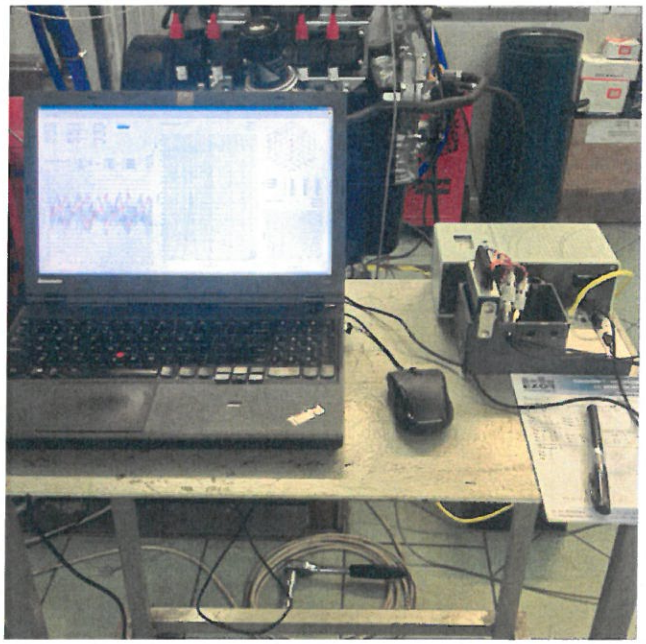
Rys. 4.4. Piezoelektryczny czujnik drgań MMF KD20.

W tab. 4.1. przedstawiono podstawowe parametry czujników.

Współczynnik transmisji z kablem	Ba = 10 mV/ms^2
Pojemność z kablem 1,5 m	Ci =2500 pF
Rezystancja izolacji (wartość minimalna)	Ri = 10^9 ohm
Częstotliwość rezonansowa sprzężona z masą stali 20 mm x 10 mm	fu = 15 kHz
Zakres częstotliwości roboczej przy 100 MOhm	10% = 1,5...4500Hz
Najmniejszy mierzalne przyspieszenie	amin = 0,004 m/s^2
Największe mierzalne przyspieszenie sinusoidalne / udarowe	amax = 3000 / 30000 m/s^2
Granica błędu kalibracji 5 ... 5000 Hz	5 %
Max. współczynnik kierunku poprzecznego	5 %
Masa z wtyczką bez kabla	70 g
Maksymalne przyspieszenie boczne	3000 m/s^2
Czułość akustyczna	0,5 uV/ubar

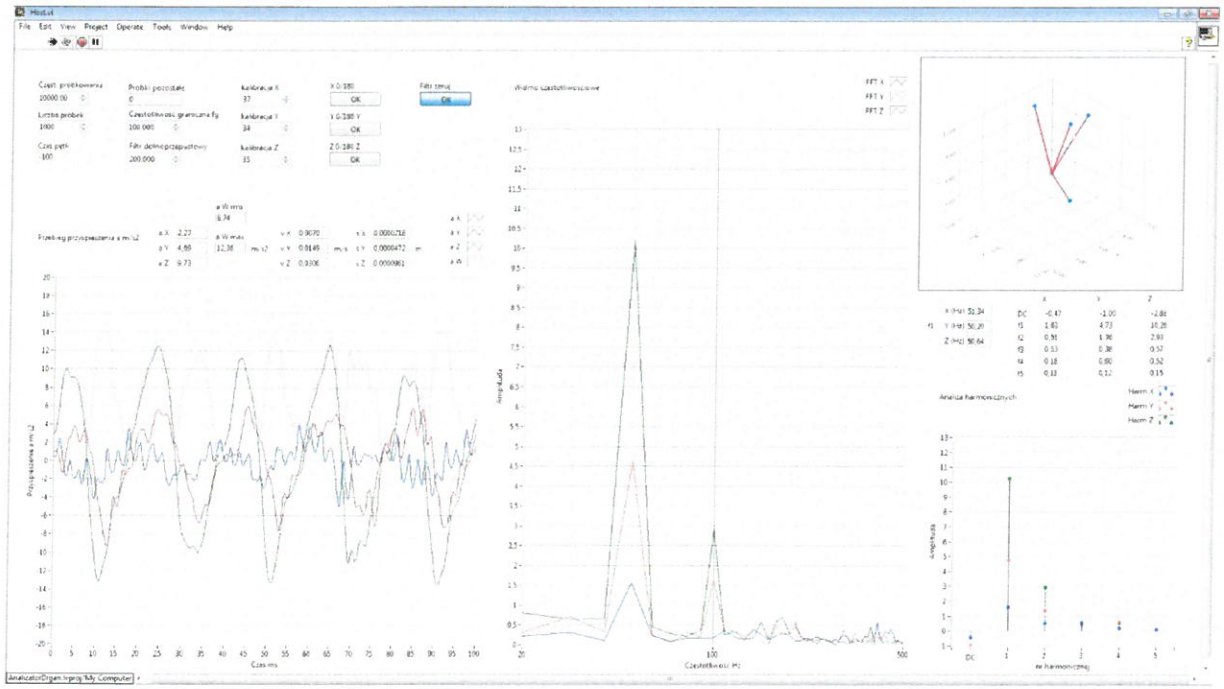
Tab. 4.1. Parametry piezoelektrycznego czujnika drgań MMF KD20

Czujniki podłączone były do karty National Instruments NI-9201 współpracującej z kontrolerem NI cRIO-9076. System komunikował się z zewnętrznym komputerem klasy PC wraz z odpowiednim oprogramowaniem, rys. 4.5.



Rys. 4.5. Komputerowy system pomiarowy.

Do analizy wyników służyło przygotowane w środowisku LabVIEW oprogramowanie. Program pozwalał w czasie rzeczywistym rejestrować sygnały z czujników oraz przedstawiać je w postaci przebiegów. Do określenia charakteru drgań służył komplet parametrów opisujących istotne wskaźniki. Na rys. 4.6. przedstawiono interfejs użytkownika.



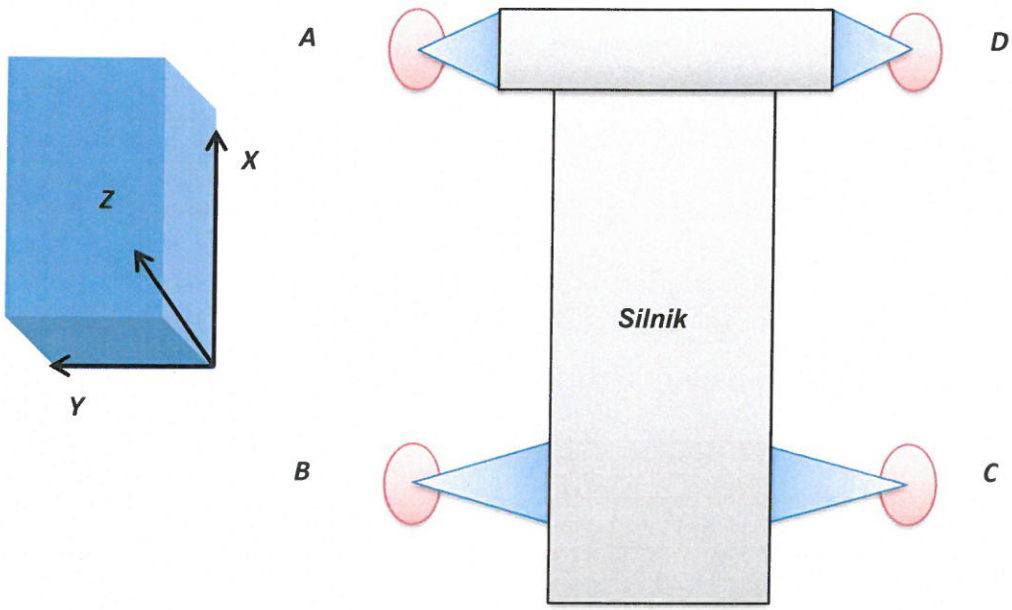
Rys. 4.6. Interfejs użytkowania analizatora drgań.

System pomiarowy rejestrował dane z rozdzielczością 16 bit/10 kHz synchronicznie z trzech kanałów. Oprogramowanie pozwalało na obróbkę sygnału, filtrowanie składowej stałej, zastosowanie filtra dolnoprzepustowego o zmiennej częstotliwości granicznej oraz posiadało zaimplementowany algorytm kalibracji i linearyzacji charakterystyki czujników piezoelektrycznych. Do wzorcowania czujników wykorzystywano elektrodynamiczny kalibrator RFT 11032.

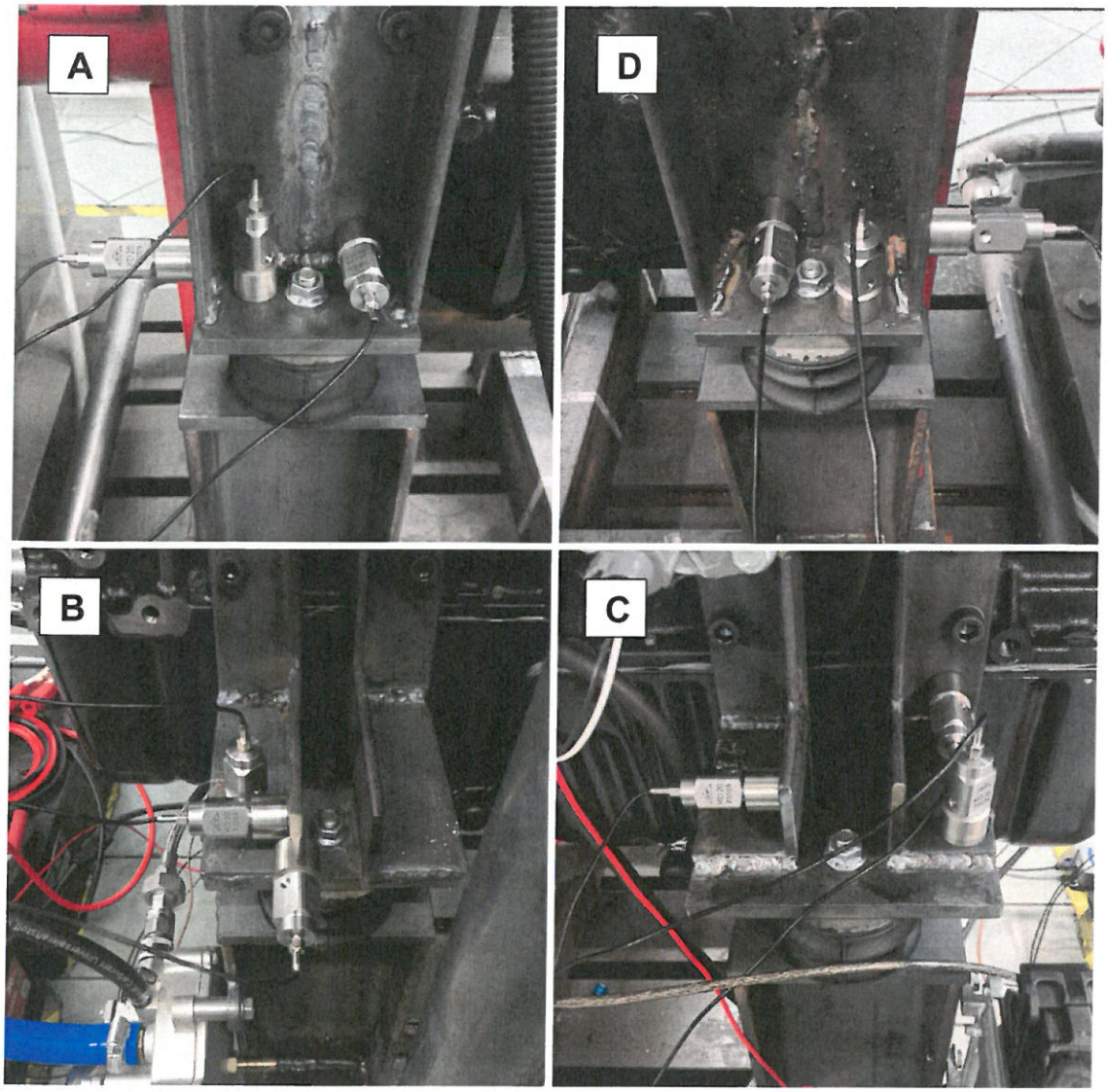
Interfejs użytkownika zawiera przebieg czasowy mierzonego sygnału wyskalowany w m/s2, wykres widma amplitudy sygnału w funkcji częstotliwości, wykres z rozkładem harmonicznych sygnału wraz z wartością częstotliwości drgań, wykres 3d przedstawiający wektor wypadkowy wraz ze składowymi amplitudy drgań, wartość przyśpieszeń, prędkości i przemieszczeń w każdym kierunku oraz wartość wypadkową drgań.

Przebieg pomiarów

Czujniki zamocowane były na silniku w miejscu elastycznego mocowania ze sztywną ramą. Na rys. 4.7. przedstawiono układ czujników A, B, C, D. Na rys. 4.8. przedstawiono sposób mocowania czujników do ramy silnika, za pomocą magnetycznych uchwytów.



Rys. 4.7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych A, B, C, D oraz orientacja czujników w osiach X, Y, Z.



Rys.4.8. Widok mocowania czujników w punktach pomiarowych.

W tab. 2A-D. przedstawiono wyniki z pomiarów. Wartości w tabelach

Podpora A					[m/s^2]
	w1000	w200			
10 kW	8,1	6,8			
15 kW	12,5	7,8			
20 kW	13,8	12,2			
	50	100	200	a1000	a200
X					
10 kW	0,7	0,5	0,5	3	1,2
15 kW	1,3	0,5	0,5	3,7	1,6
20 kW	1,5	0,5	0,5	4,1	2,4
Y					

10 kW	2,4	0,7	0,5	2,9	2,5
15 kW	4,5	1,3	0,5	5	5,1
20 kW	4,7	1,3	0,7	5,2	4,5
Z					
10 kW	5,8	1,5	0,5	6	5,8
15 kW	9	2,3	1	9,5	10
20 kW	10,3	2,7	1	10,1	9,3

Tab. 2A

Podpora B					[m/s^2]
	w1000	w200			
10 kW	8,7	7,1			
15 kW	14,5	11,6			
20 kW	13,9	12,2			
	50	100	200	a1000	a200
X					
10 kW	0,7	0,5	0,5	2,4	1,2
15 kW	1,4	0,5	0,5	3,3	1,8
20 kW	1,5	0,5	0,5	3,8	2,3
Y					
10 kW	3	0,8	0,5	3,2	3,2
15 kW	6,1	1,7	0,5	6,5	6,2
20 kW	6,5	1,7	0,5	6,6	6
Z					
10 kW	5,9	1,3	0,5	6,3	5,9
15 kW	9,3	2,3	0,5	10	9
20 kW	9,5	2,5	0,5	9,8	8,8

Tab. 2B

Podpora C					[m/s^2]
	w1000	w200			
10 kW	8,1	6,9			
15 kW	13	11,5			
20 kW	15	13			
	50	100	200	a1000	a200
X					
10 kW	0,6	0,5	0,8	2,8	2
15 kW	0,7	0,6	1,7	5,1	3,5
20 kW	0,7	0,6	1,5	3,9	2,4

Y					
10 kW	3,2	1	0,5	3,6	3,3
15 kW	5,7	1,6	0,5	6	5,8
20 kW	6,5	1,8	0,6	6,7	6,3
Z					
10 kW	5,3	1,1	0,5	5,3	5
15 kW	7,8	1,8	0,5	7,7	8
20 kW	9,7	3	1,3	11,1	9,5

Tab. 2C

Podpora D					[m/s^2]
	w1000	w200			
10 kW	10	7,3			
15 kW	9,9	7,8			
20 kW	15,6	13,7			
	50	100	200	a1000	a200
X					
10 kW	0,5	0,5	0,5	3,1	1,3
15 kW	1	0,5	0,5	3,8	2,5
20 kW	0,7	0,5	0,5	3,4	2,1
Y					
10 kW	2,7	0,8	0,5	3,7	2,9
15 kW	3	1,5	0,5	5,9	5,3
20 kW	6	1,5	0,5	6,4	5,9
Z					
10 kW	6	1,7	0,5	6,2	6,1
15 kW	5,1	6,7	0,5	5	3,2
20 kW	11,3	3,5	1,5	11,7	11

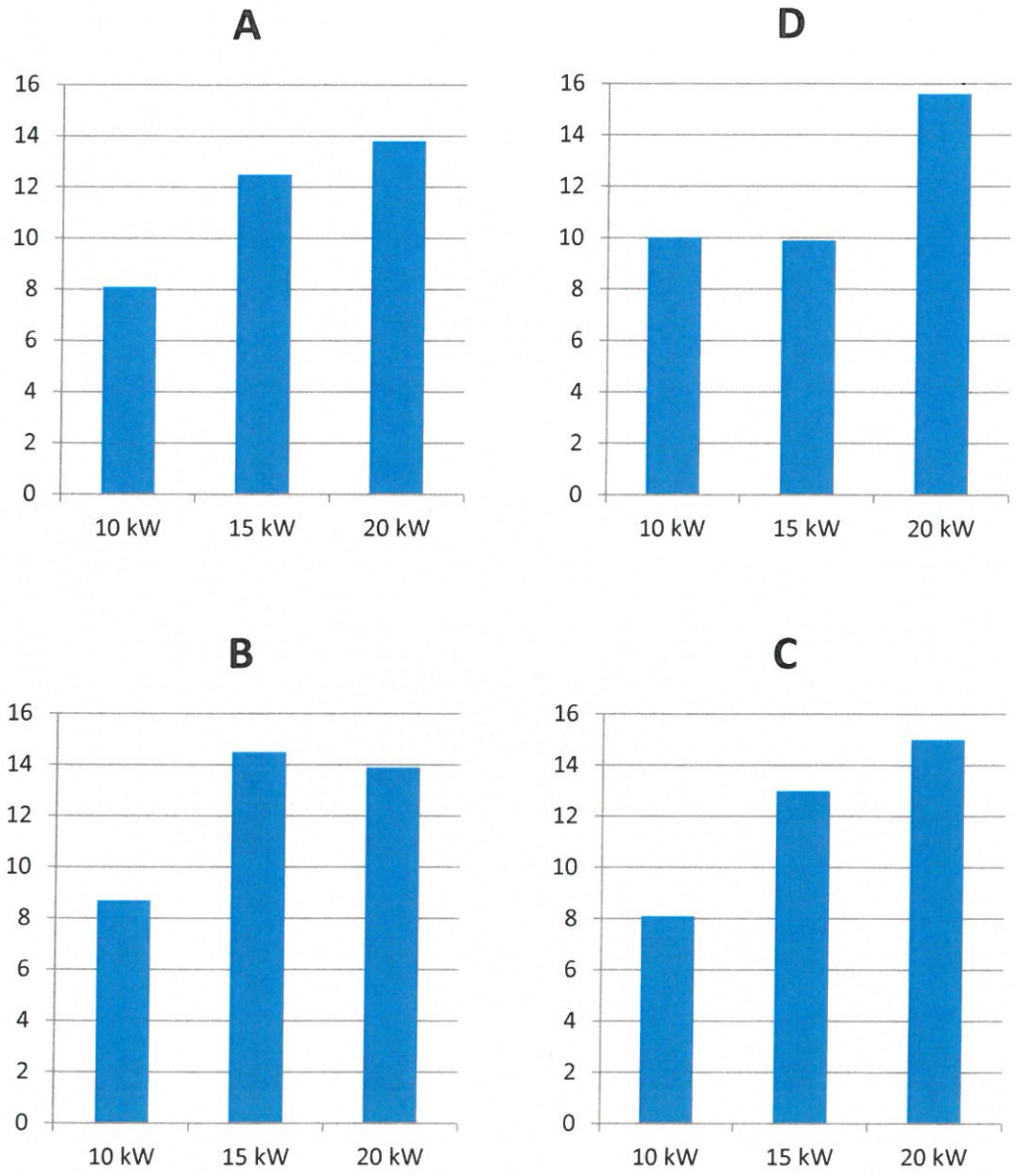
Tab. 2D

Oznaczenia do tabel

w1000	amplituda wypadkowego wektora drgań dla pasma 1000 Hz
w200	amplituda wypadkowego wektora drgań dla pasma 200 Hz
50, 100, 200 Hz	amplituda drgań dla poszczególnych częstotliwości w osi X, Y, Z
a1000	wypadkowa amplituda drgań dla pasma 1000 Hz i osi X, Y, Z
a200	wypadkowa amplituda drgań dla pasma 200 Hz i osi X, Y, Z

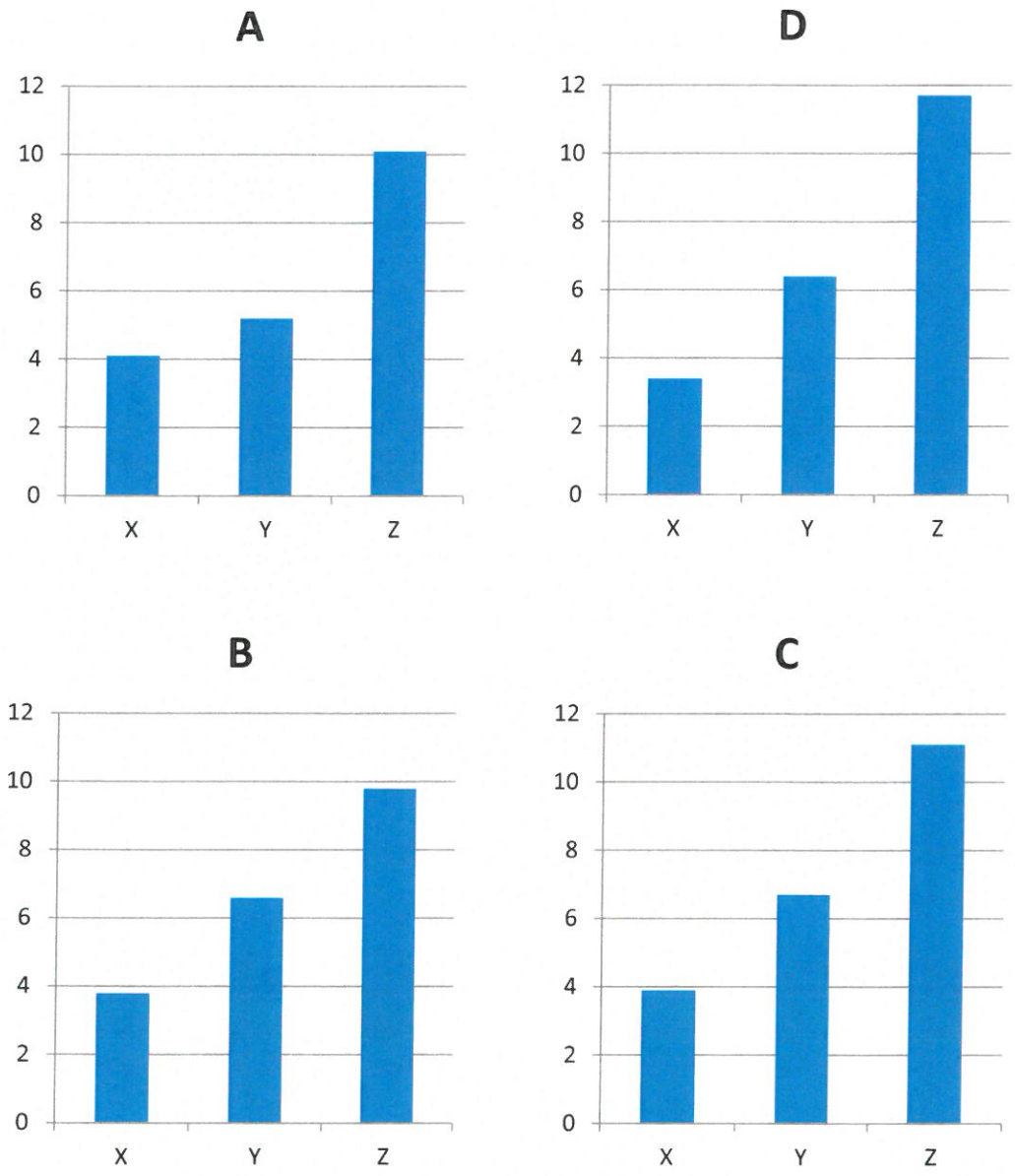
Wartości w tabelach podano w m/s^2

Rys. 4.9. przedstawia na wykresie wypadkową amplitudę drgań będącą sumą wektorową amplitud drgań w osiach X, Y, Z.



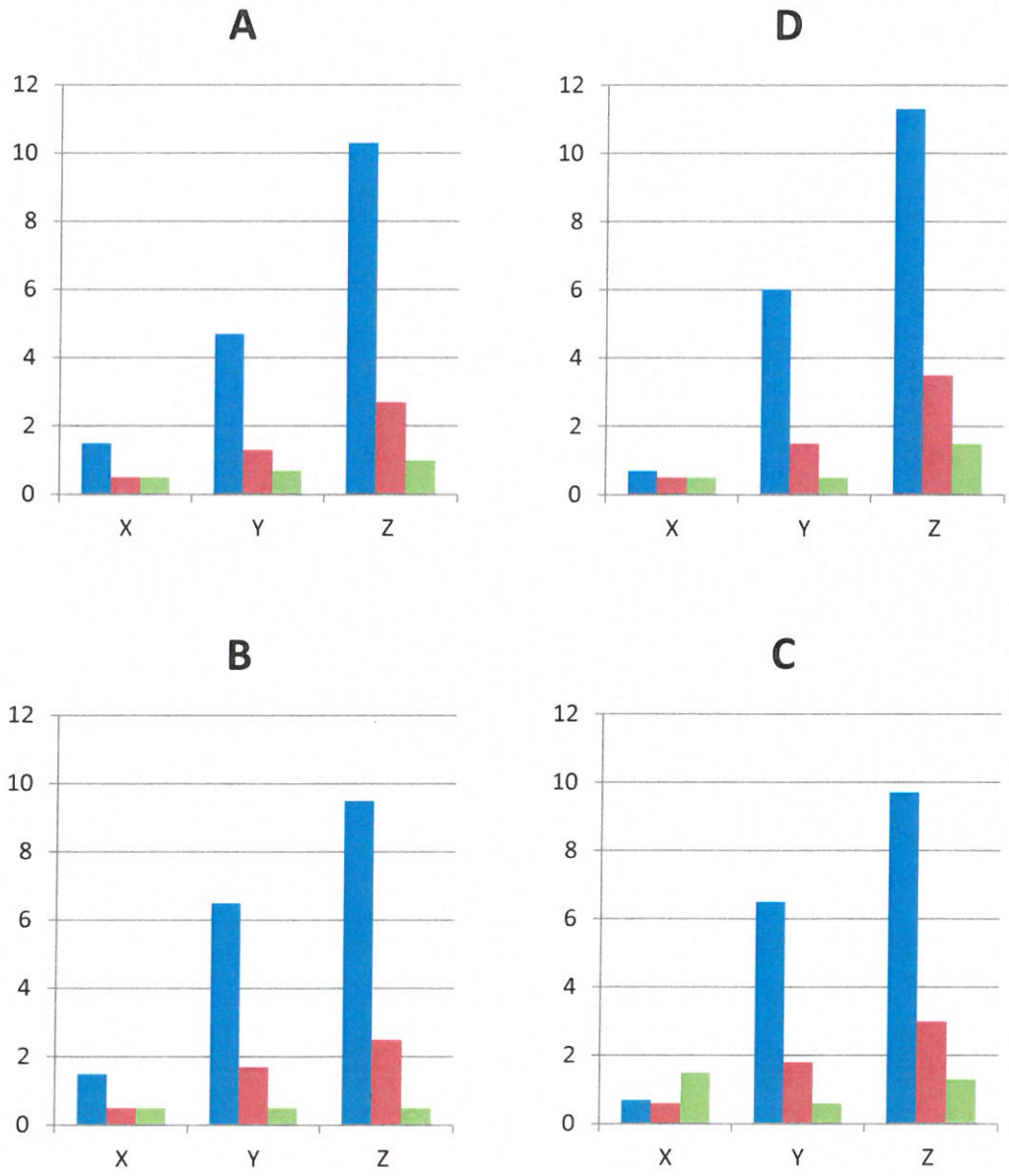
Rys.4.9. Amplituda wypadkowa drgań w poszczególnych podporach silnika [m/s^2], pasmo 1kHz

Na rys. 4.10 przedstawiono rozkład drgań w poszczególnych kierunkach. Wyróżnia się składowa Z odpowiadająca drganiom w kierunku pionowym. Rozkład drgań odpowiada spodziewanym wynikom. Wizualizacja dotyczy największego obciążenia silnika 20 kW, wtedy drgania posiadały największą wartość.



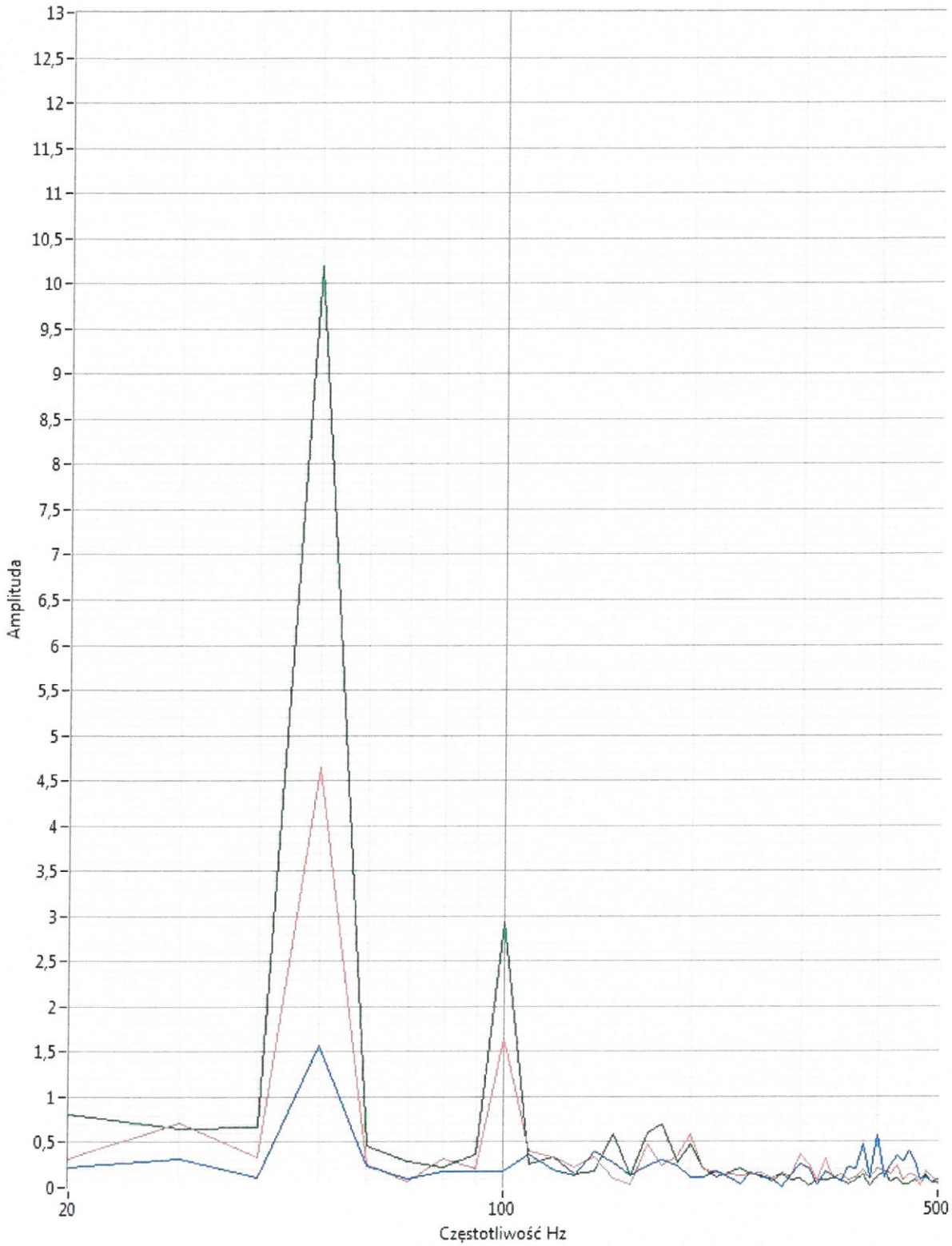
Rys. 4.10. Składowe wypadkowej amplitudy drgań na podporach w kierunkach X, Y, Z [m/s^2], pasmo 1kHz, 20 kW

Na rys. 4.11. przedstawiono rozkład harmonicznych drgań na poszczególnych podporach. Podstawową częstotliwością było 50 Hz wynikające z prędkości obrotowej silnika 1500 obr./min

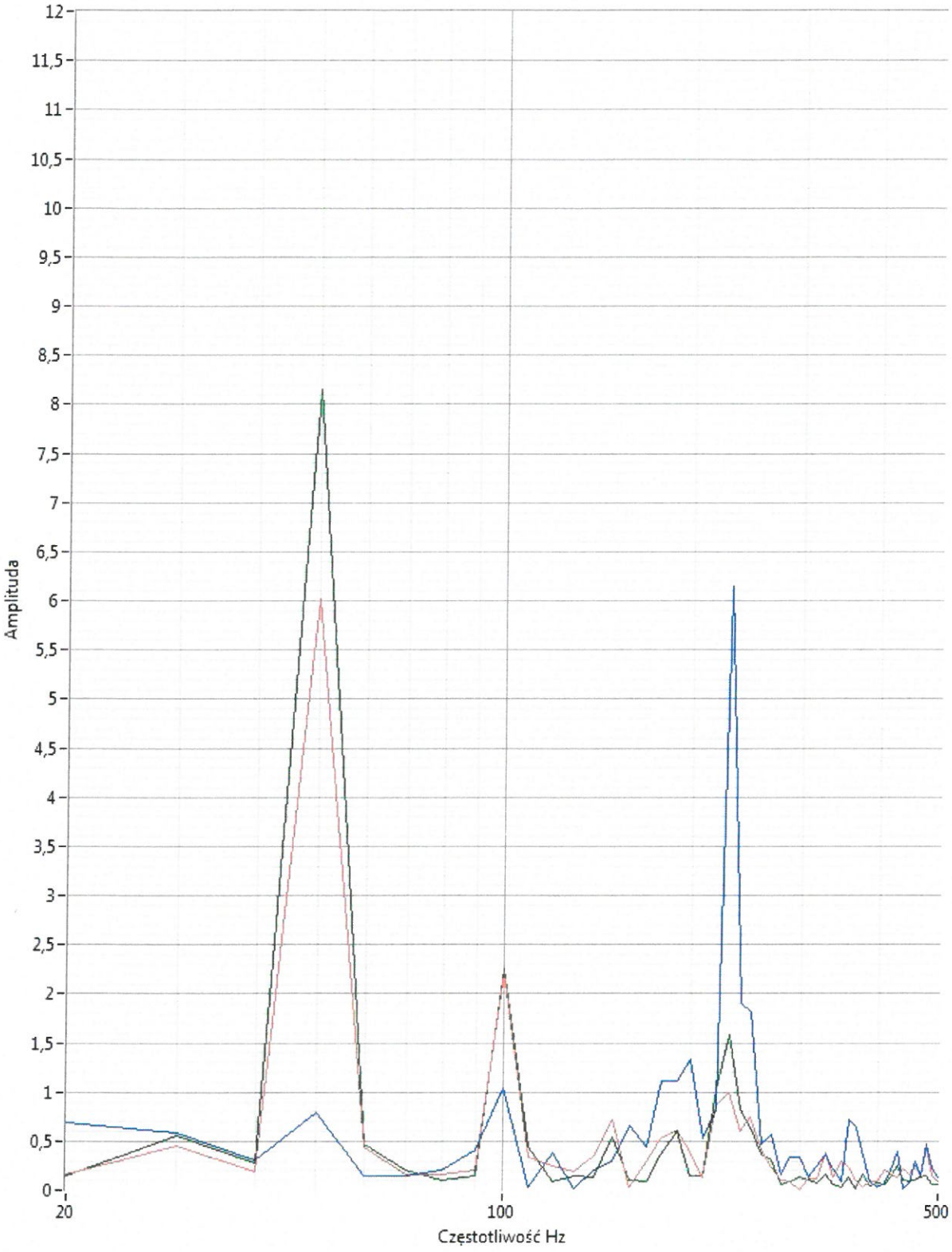


Rys.4.11. Widmo drgań w poszczególnych kierunkach X, Y, Z [m/s^2] na poszczególnych podporach, pasmo 1kHz. f1 = 50 Hz, f2 = 100 Hz, f3 = 200 Hz.

Główne składowe drgań zawierały się w trzech podstawowych harmonicznych. Na rys. 4.12. przedstawiono wykres widma drgań dla typowego przebiegu. W podporze C wyróżniała się wyższa składowa X o częstotliwości ok. 220 Hz. (rys. 4.13). Podobna sytuacja przedstawia się dla podpory D, jednak dla wyższej częstotliwości ok. 480 Hz. Obie częstotliwości znajdują się już bardziej w paśmie akustycznym spowodowane są pracą mechanizmów silnika i nie powinny wpływać na przenoszenie się drgań na konstrukcję.

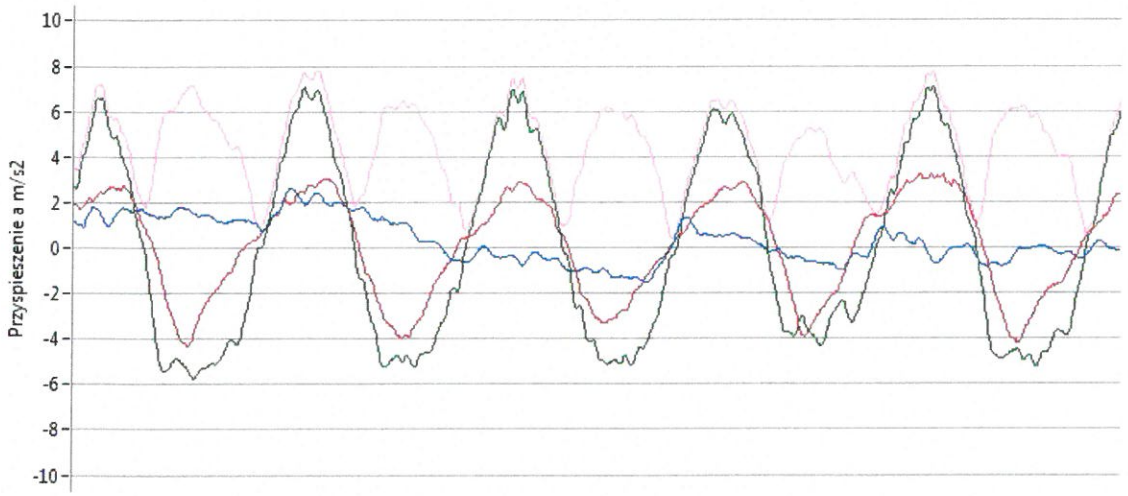


Rys. 4.12. Widmo drgań w podporze B dla obciążenia 20 kW w osiach X, Y, Z [m/s^2].



Rys.4.12. Widmo drgań w podporze C dla obciążenia 15 kW w osiach X, Y, Z [m/s^2].

Najwyższą wartość drgań rejestrowano dla częstotliwości 50 Hz wynikającą z cykli pracy czterocylindrowego silnika. Dla prędkości 1500 obr./min. częstotliwość wynikająca z ruchu obrotowego wału korbowego wynosi 25 Hz. Niemniej jednak składowa ta posiada niewielki wpływ na amplitudę drgań. Na rys. 4.13. przedstawiono przebieg czasowy sygnału z czujników. Zauważyć można niższą składową na przebiegu w osi X, o stosunkowo niewielkiej jednak wartości.

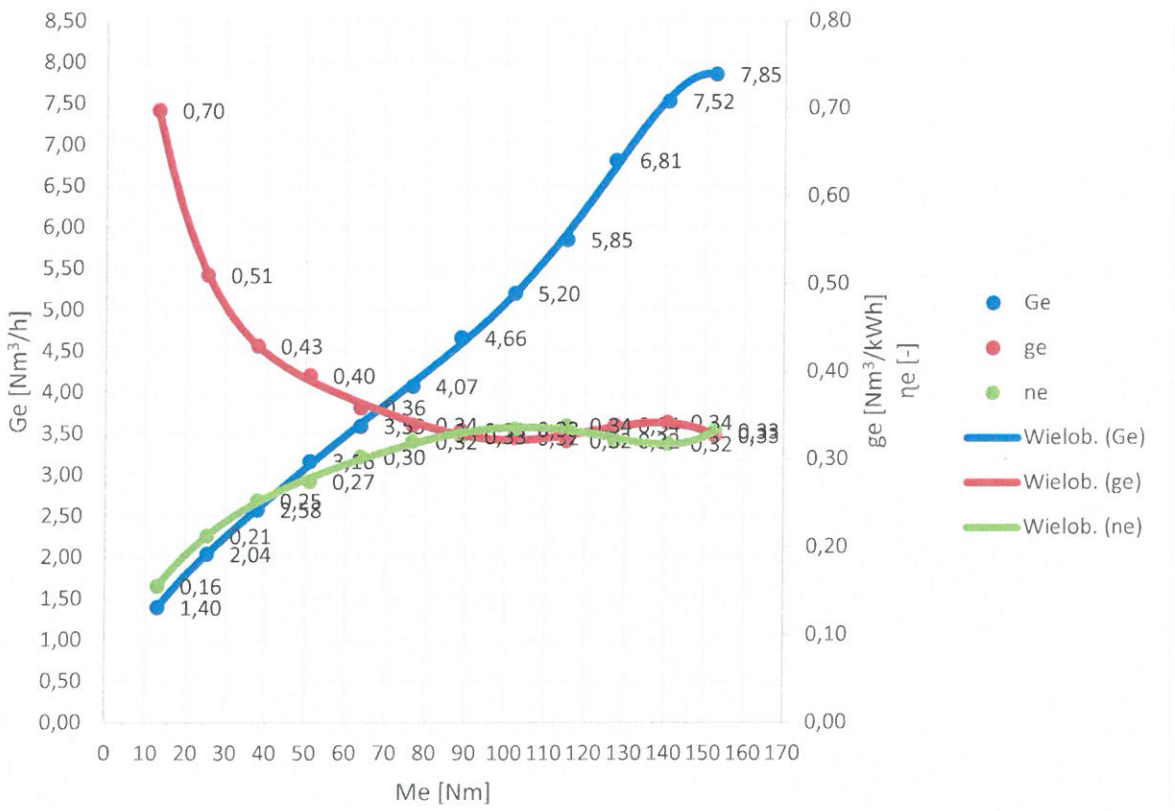


Rys. 4.13. Przebieg sygnału z czujników drgań dla obciążenia 10 kW, w podporze B, pasmo 200 Hz w osiach X, Y, Z wraz z amplitudą wypadkową drgań [m/s^2].

Pomiar poziomu hałasu odbywał się w miejscu zamontowania silnika w hamowni silnikowej. Na ogólny poziom hałasu mają wpływ warunki otoczenia wraz z pracą dodatkowych urządzeń. Z tego względu, pomiar przeprowadzono w różnych punktach w bezpośredniej okolicy silnika. Badania przeprowadzono przy użyciu miernika Benetech GM1357 o deklarowanej dokładności wskazań +/- 1.5dB. W wyniku prób ustalono maksymalny poziom mocy akustycznej Lw = 84 dB(A).

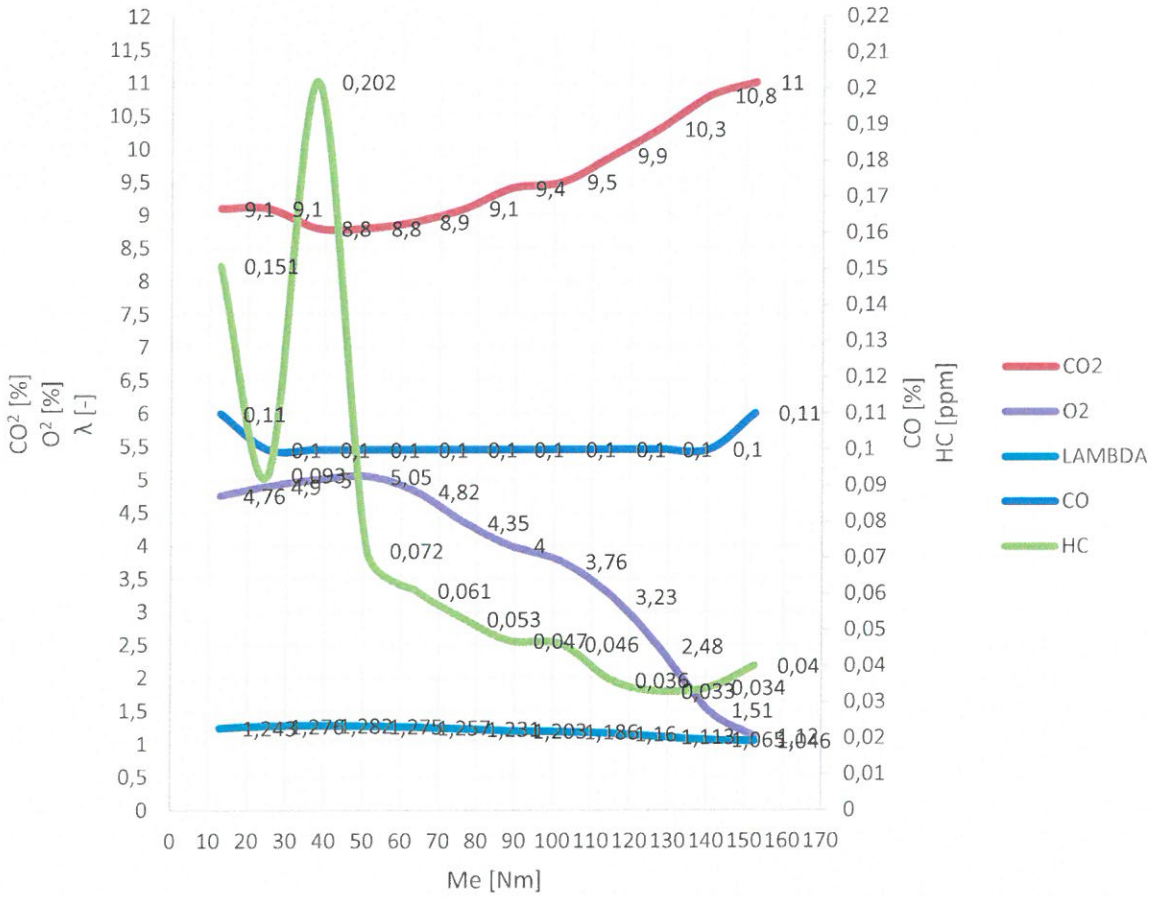
4.4. Pomiary parametrów silnika po wykonaniu cyklu badań eksploatacyjno-trwałościowych

Po wykonaniu zasadniczej części projektu, składającej się z 20 cykli badawczych, zrealizowanych podczas 100 godzin pomiarów, przeprowadzono pomiary wybranych parametrów roboczych silnika i parametrów gazów wylotowych.



Rys.4.14. Charakterystyka obciążeniowa silnika Toyota 4Y (n = 1500 1/min) po wykonaniu cyklu badań eksploatacyjno-trwałościowych

Na rys. 4.14 przedstawiono charakterystykę obciążeniową badanego silnika Toyota 4Y po wykonaniu cyklu badań zasadniczych. Na rysunku przedstawiono zależność przebiegu godzinowego zużycia paliwa (G_e – linia niebieska), jednostkowego zużycia paliwa (g_e – linia czerwona) oraz sprawności ogólnej (n_e – linia zielona). Zmierzone wartości parametrów silnika odpowiadają wartościom deklarowanym przez producenta silnika.

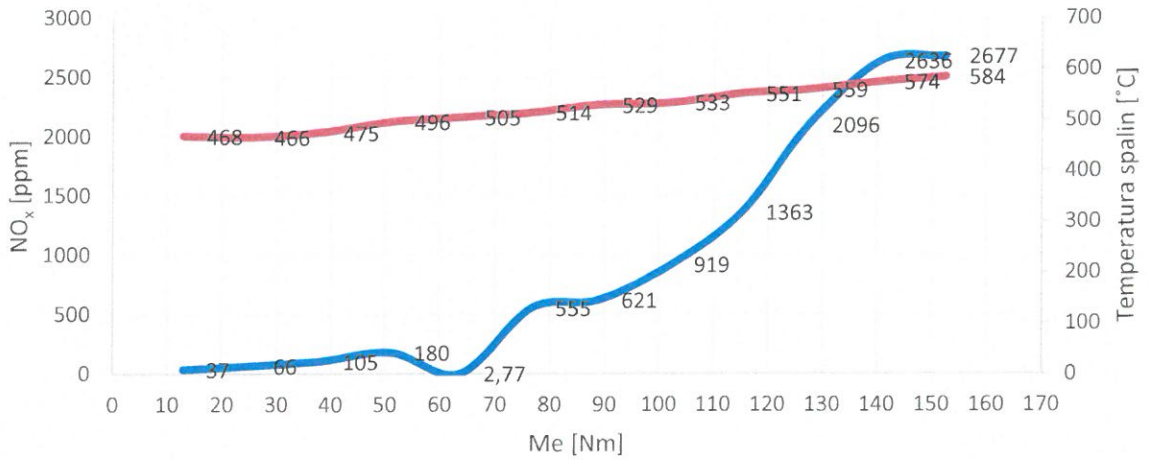


Rys.4.15. Przebieg stężenia wybranych składników spalin i przebieg współczynnika nadmiaru powietrza w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min) po wykonaniu cyklu badań eksploatacyjno-trwałościowych

Na rysunku 4.15 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego wybranych składników spalin oraz przebieg współczynnika nadmiaru powietrza podczas badań silnika Toyota 4Y po wykonaniu cyklu badań zasadniczych. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.

Na rysunku przedstawiono zależność:

przebieg stężenia objętościowego dwutlenku węgla CO_2 (CO_2 – linia czerwona),
przebieg stężenia objętościowego tlenu O_2 (O_2 – linia fioletowa),
przebieg stężenia objętościowego tlenku węgla CO (CO – linia granatowa),
przebieg stężenia objętościowego węglowodorów HC (HC – linia zielona),
przebieg współczynnika nadmiaru powietrza λ (lambda) (λ – linia niebieska).



Rys.4.16. Przebieg stężenia tlenków azotu i przebieg temperatury gazów wylotowych w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min) po wykonaniu cyklu badań eksploatacyjno-trwałościowych

Na rysunku 4.16 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x oraz przebieg temperatury spalin, mierzonej bezpośrednio na wylocie spalin z kolektora wylotowego, podczas badań silnika Toyota 4Y po wykonaniu cyklu badań zasadniczych. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono zależność:

przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x (NO_x – linia niebieska),
przebieg temperatury gazów wylotowych (linia czerwona).

4.5. Pomiary wybranych parametrów oleju silnikowego przed i po wykonaniu cyklu badań eksploatacyjno-trwałościowych

Zgodnie z wymaganiami Zleceniodawcy przeprowadzono badania wybranych parametrów oleju silnikowego przed przystąpieniem do badań oraz po ich zakończeniu. Powyższe badania zostały przeprowadzone w specjalistycznym laboratorium badawczym Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie.

W badanym silniku był stosowany wielosezonowy olej silnikowy firmy MOTUL typ Specific CNG/LPG o lepkości SAE 5W/40, klasy C3. Był to olej zalecany przez Zleceniodawcę. Zgodnie z przyjętą metodyką przed przystąpieniem do badań silnika pobrano próbkę oleju silnikowego z misy olejowej (1 dm^3), a następnie uzupełniono stan świeżym olejem. Po zakończeniu badań eksploatacyjnych i trwałościowych ponownie pobrano próbkę oleju silnikowego z misy olejowej silnika (1 dm^3).

Badano następujące parametry oleju silnikowego:

1. Badania oleju przed przeprowadzonym cyklem badawczym silnika:
   a. Lepkość kinematyczna w temperaturze 100 °C – 13,72 mm^2/s
   b. Temperatura zapłonu – 247 °C

2. Badania oleju po przeprowadzonym cyklu badawczym silnika (100 h):
   a. Lepkość kinematyczna w temperaturze 100 °C – 13,38 mm^2/s
   b. Temperatura zapłonu – 237 °C
   c. Oksydacja – 2,3 A/cm
   d. Nitryzacja – 3,6 A/cm
   e. Sulfonowania – 2,1 A/cm

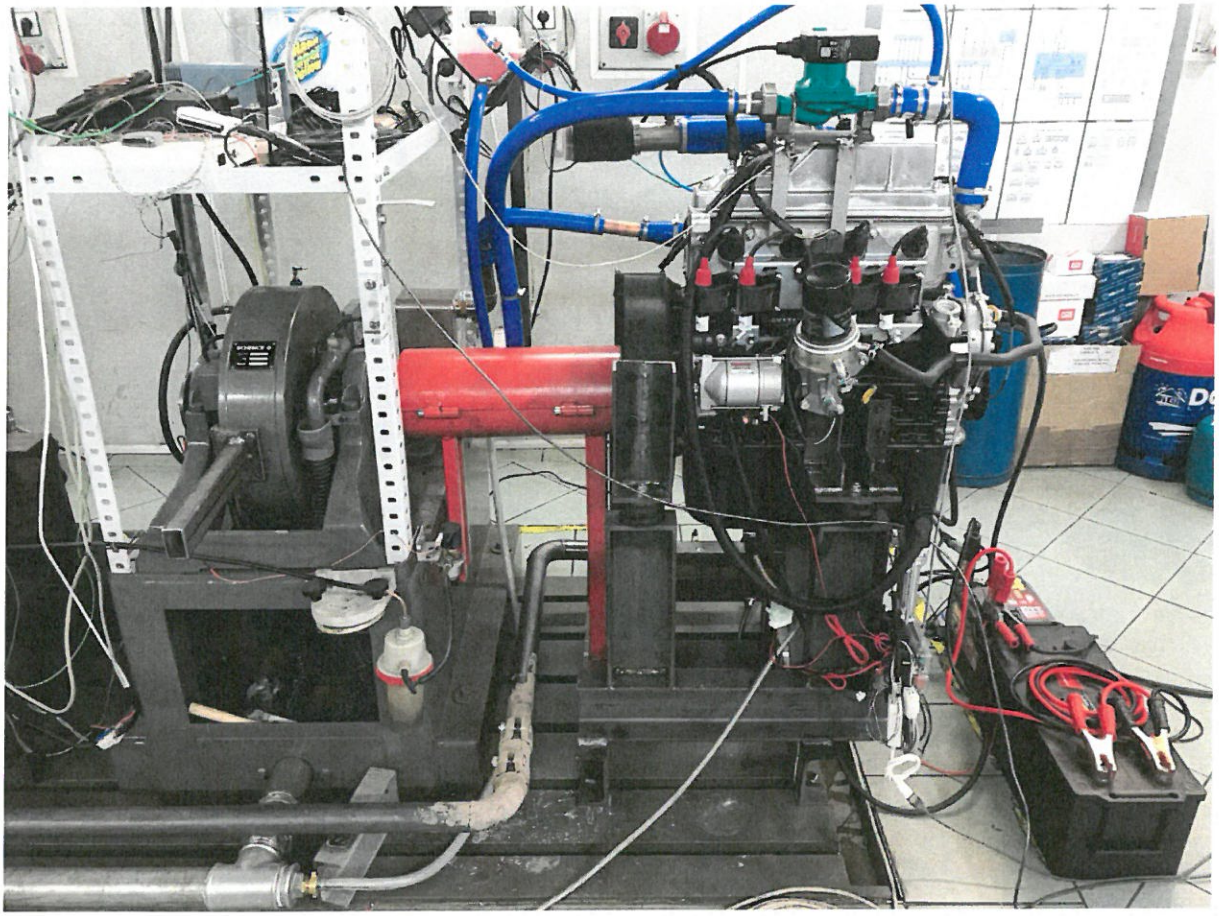
5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania upoważniają do przedstawienia następujących, najważniejszych wniosków:

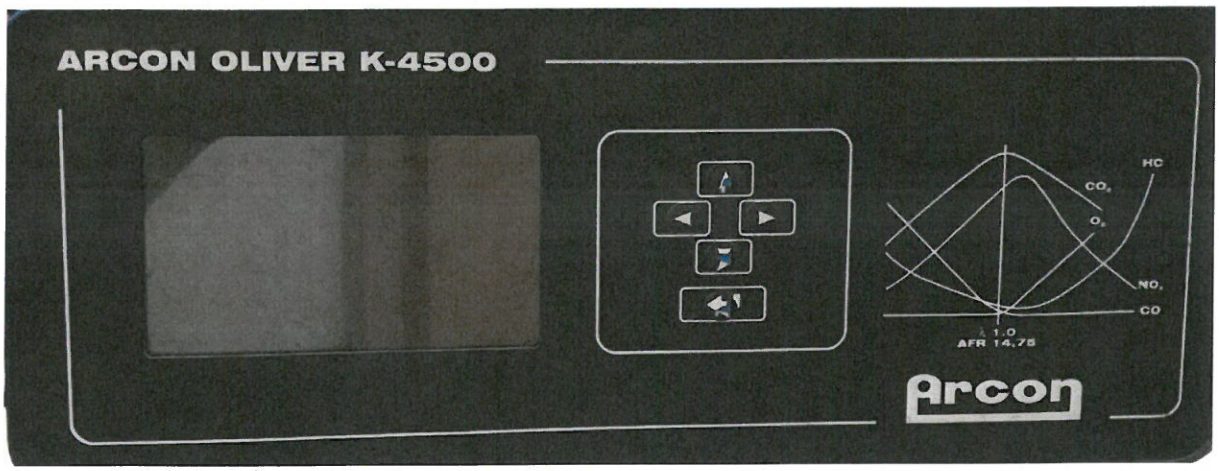
1. Wstępne uruchomienie silnika wykazało, że oprogramowanie sterownika jedynie w zakresie podstawowym spełnia wymagania stawiane tego typu nowoczesnym systemom stosowanym w agregatach prądotwórczych. Sterownik nie gwarantował utrzymania stabilnej pracy silnika w zakresie założonej prędkości obrotowej. Zanotowano zmiany prędkości obrotowej w zakresie +/- 100 1/min.
2. Oprogramowanie sterownika nie spełnia wytycznych dotyczących utrzymania prędkości obrotowej silnika, podczas szybkiej zmiany obciążenia. Obowiązująca norma dopuszcza zmianę w zakresie +10% i -15% i ustabilizowanie prędkości obrotowej w czasie nie dłuższym niż 10 s. W dostarczonym systemie sterowania stwierdzono przekroczenia podanych wartości.
3. Istnieje możliwość opracowania nowego sterownika silnika, o odpowiedniej architekturze i nowej strategii sterowania, gwarantującego stabilną pracę oraz spełnienie wymagań stawianych tego typu maszynom.
4. Dostarczony silnik typu Toyota 4Y jest dobrą konstrukcją w aspekcie zastosowania do napędu maszyn, w tym generatorów prądu.
5. Stwierdzono małą amplitudę drgań we wszystkich osiach pomiarowych.
6. Poziom hałasu nie przekracza wymagań stawianych tego typu źródłom napędu.
7. Zbadane zmiany parametrów oleju smarującego, są typowe dla tego typu maszyn przemysłowych.

Załączniki

1) Zdjęcie stanowiska badawczego
2) Zdjęcie panelu analizatora spalin użytego w badaniach
3) Zdjęcie panelu sterownika hamulca silnikowego



Zał. 1 Zdjęcie stanowiska badawczego



Zał. 2. Panel analizatora spalin użyty w badaniach

Zał. 3. Panel sterownika hamulca elektrowirowego Schenck typ W70.

Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

Do FP+DT
Podpis
13. 12. 2019

TEMAT PRACY:

DOC-211725

„Prace optymalizacyjne siln agregatu trójgener

ZLECENIODAWCA:

Frapol Sp. z o.o. z siedzibą w Krakowie, ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków

NR UMOWY:

M-04/337/2019/P

KIEROWNIK TEMATU:

dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK

DYREKTOR INSTYTUTU:

Dyrektor
Instytutu Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych

Dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof.PK

KRAKÓW, grudzień 2019 r.

Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

Instytut Pojazdów
Samochodowych
i Silników Spalinowych
Zakład Silników Spalinowych

TEMAT PRACY:

„Prace optymalizacyjne silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego"

ZLECENIODAWCA:

Frapol Sp. z o.o. z siedzibą w Krakowie, ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków

NR UMOWY:

M-04/337/2019/P

KIEROWNIK TEMATU:

dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK

DYREKTOR INSTYTUTU:

Dyrektor
Instytutu Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych

Dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof.PK

KRAKÓW, grudzień 2019 r.

1. PODSTAWA REALIZACJI PRACY

Praca została wykonana na podstawie umowy nr M-04/337/2019/P z dnia 3.09.2019 r. dotyczącej realizacji projektu badawczego pt.:

„Prace optymalizacyjne silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego"

zawartej pomiędzy:

firmą **Frapol Sp. z o.o.** z siedzibą w Krakowie, ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków,

a **Politechniką Krakowską im. Tadeusza Kościuszki** z siedzibą w Krakowie, ul. Warszawska 24, 30-155 Kraków.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Przedmiot umowy stanowi przeprowadzenie prac optymalizacyjnych silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego w ramach Projektu, na warunkach wynikających z oferty złożonej w odpowiedzi na Zapytanie oraz na warunkach określonych w Zapytaniu i załącznikach do niego.

Zakres działań wyznaczony przez Zleceniodawcę, związanych z badaniem laboratoryjnym do wykonania przez Wykonawcę:

1. Wykonawca jest zobowiązany do wykonania przedmiotu zamówienia obejmującego:
   1.1. Opracowanie, na podstawie badań stanowiskowych, dedykowanego sterownika silnika typu Toyota 4Y),
   1.2. Opracowanie dedykowanego układu oczyszczania spalin w oparciu o reaktor katalityczny,
   1.3. Opracowanie oprogramowania oraz dobór parametrów pracy silnika wg wytycznych Wnioskodawcy,
   1.4. Prace regulacyjne układu zasilania silnika i układu zapłonowego, wykonane na hamowni silnikowej,
   1.5. Prace regulacyjne wykonywane na agregacie trójgeneracyjnym,
   1.6. Określenie zakresu pomiarów i ich analiza :
   - Parametrów energetycznych silnika (zużycie paliwa, sprawność ogólna silnika),
   - Parametrów roboczych silnika (wartość momentu obrotowego, mocy efektywnej, temperatury spalin przed i za reaktorem katalitycznym, temperatury powietrza w układzie dolotowym).
   - składu spalin przed reaktorem katalitycznym: (CO, NOx, HC, CO_2, O_2,)
   - składu spalin za reaktorem katalitycznym: (CO, NOx, HC, CO_2, O_2,)
2. Wykonawca jest zobowiązany nabyć próbkę badawczą w postaci jednej sztuki silnika stacjonarnego o mocy efektywnej 20 kW (±2 kW), przy n = 1500 1/min o konstrukcji dostosowanej do pracy ciągłej.
3. Po wykonaniu badań Wykonawca przekaże Zamawiającemu raport z badań oraz wyda Zamawiającemu próbkę badawczą na zasadzie EXW Incoterms 2010. Prawo własności próbki badawczej przechodzi na Zamawiającego z chwilą ich wydania.
4. Wykonawca zobowiązany będzie świadczyć usługi objęte przedmiotem umowy z należytą starannością, zgodnie z postanowieniami umowy, obowiązującymi przepisami prawa, a także do składania każdorazowo na żądanie Zamawiającego wszelkich wyjaśnień, raportów i sprawozdań w związku z wykonywaniem umowy.

5. Zamawiający może udzielać Wykonawcy wskazówek dotyczących należytego wykonania przedmiotu umowy, które będą wiążące dla Wykonawcy, jeśli Zamawiający wyraźnie nie zastrzegł odrębnie. W przypadku otrzymania takich wskazówek, Wykonawca zobowiązany jest w terminie 2 dni roboczych powiadomić Zamawiającego o zagrożeniach dla prawidłowej realizacji przedmiotu umowy, wynikających z zastosowanie się Wykonawcy do wskazówek Zamawiającego pod rygorem utraty prawa do powoływanie się na tę okoliczność w przyszłości.
6. Wykonawca w stosunku do Zamawiającego wykonuje usługi, czynności i działania objęte przedmiotem umowy we własnym imieniu i na własne ryzyko oraz ponosi względem Zamawiającego pełną odpowiedzialność z tytułu ich wykonania. .

Tab. 2.1. Podział zadań zawartych w projekcie

l.p.	**Temat zadania**
1.	Zakup obiektu badań w postaci stacjonarnego silnika spalinowego wg wytycznych Zleceniodawcy (Toyota 4Y),
2.	Budowa stanowiska badawczego
7.	Sporządzenie charakterystyk wyjściowych,
5.	Opracowanie koncepcji i wykonanie nowego sterownika silnika,
3.	Opracowanie i zestawienie torów pomiarowych do badania parametrów roboczych silnika,
4.	Opracowanie i zestawienie torów pomiarowych do badania składu emitowanych spalin,
6.	Opracowanie koncepcji systemu oczyszczania spalin, wybór rektora katalitycznego,
8.	Wykonanie wstępnych badań i kalibracja opracowanego sterownika,
9.	Wykonanie wstępnych badań opracowanego systemu oczyszczania spalin,
10.	Wykonanie badań walidacyjnych opracowanego sterownika
11.	Opracowanie metodyki badań parametrów roboczych i ekologicznych silnika,
12.	Zasadnicze badania parametrów roboczych i ekologicznych silnika, w warunkach sporządzania charakterystyki obciążeniowej,
13.	Opracowanie wyników badań,
14.	Modernizacja systemu trójgeneracyjnego będącego w eksploatacji, z wykorzystaniem uzyskanych wyników przeprowadzonych badań optymalizacyjnych,
15.	Sporządzenie sprawozdania z badań.

3. OPIS METODYKI PROWADZONYCH BADAŃ

3.1. Charakterystyka techniczna silnika

Wybrany do badań silnik typu Toyota 4Y jest silnikiem stacjonarnym, przeznaczonym do napędu różnego typu maszyn przemysłowych. Silnik nie jest wyposażony standardowo w system oczyszczania spalin. Poddany badaniom egzemplarz silnika był przeznaczony do współpracy z generatorem prądu elektrycznego, w związku z tym był przeznaczony do pracy ze stałą prędkością obrotową, wynoszącą 1500 1/min. Charakterystyczną cechą tego silnika jest brak w wyposażeniu pompy cieczy chłodzącej oraz prądnicy, dzięki czemu można uzyskać większą wartość sprawności mechanicznej i sprawności ogólnej. Silnik był zasilany gazem ziemny typ E o wartości opałowej $W_p = 33{,}13$ MJ/m^3.

W tabeli 3.1. przedstawiono dane techniczne silnika wykorzystanego w prowadzonych badaniach.

Tab.3.1. Dane techniczne silnika Toyota 4Y

Rodzaj zapłonu	iskrowy
Układ cylindrów	Rzędowy
Liczba cylindrów	4
Średnica tłoka	91 [mm]
Skok tłoka	86 [mm]
Objętość skokowa	2237 [cm^3]
Geometryczny stopień sprężania	10,5
Kolejność pracy cylindrów	1-3-4-2
Rodzaj paliwa	gaz ziemny typu E
Znamionowa moc brutto	18 [kW]
Znamionowa prędkość obrotowa	1500 [1/min]
Maksymalny moment obrotowy brutto	136 [Nm]
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	800 [1/min]
Objętość układu chłodzenia silnika	4,8 [dm^3]
Objętość oleju w układzie smarowania silnika	12 [dm^3]
Masa silnika	122 [kg]

Silnik wyposażony był w fabryczny, elektroniczny sterownik typu IMT ICU 180, przeznaczony do współpracy silnika spalinowego z generatorem prądu elektrycznego. Charakterystyczną cechą sterownika fabrycznego była konieczność ciągłego dostarczania danych, dotyczących aktualnej wartości parametrów pracy silnika z sieci CAN. Powyższe dane wymagają zastosowania dodatkowego sterownika lub komputera klasy PC z zapisem żądanych parametrów pracy silnika, przekazywanymi następnie szyną CAN do sterownika silnika. Tego typu system wymaga ciągłego nadzoru pracy silnika. Poważnym problemem pracy fabrycznego sterownika była zbyt powolna reakcja na zmianę obciążenia. Przyczyną tego był brak bezpośredniej identyfikacji przez sterownik fabryczny wpływu współczynnika nadmiaru powietrza na parametry robocze silnika. Sterownik fabryczny nie uwzględniał ponadto konieczności zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu w stosunku do zmiany współczynnika nadmiaru powietrza zasilającej mieszanki oraz stanu obciążenia silnika.

Wymienione wyżej cechy fabrycznego sterownika nie pozwalały na uzyskanie optymalnej sprawności silnika w całym obszarze pracy oraz nie gwarantowały oczekiwanej reakcji na zmianę warunków pracy.

3.2. Opracowanie systemu sterowania

Zgodnie z zakresem działań wyznaczonych przez Zleceniodawcę opracowano nowy system sterowania silnika, spełniający oczekiwania w zakresie uzyskania optymalnych parametrów roboczych i ekologicznych.

Podstawą systemu sterowania był tzw. sterownik swobodnego programowania. Spośród dostępnych na rynku tego typu urządzeń wybrano sterownik typu ECUMASTER EMU BLACK. Wybór tego sterownika podyktowany był jego parametrami, dotyczącymi przetwarzania danych, a także doświadczeniem Zespołu realizującego projekt z jego stosowaniem do sterowania procesami w silniku spalinowym.

Wybrany sterownik ECUMASTER EMU BLACK wymagał przygotowania programu sterowania, przeznaczonego do danego typu silnika i liczby sterowanych parametrów. Ponadto przygotowano środowisko typu Client, które pozwala na jego obsługę przez personel. Ze względu na konieczność połączenia sterownika z różnego typu czujnikami oraz elementami wykonawczymi, konieczne było opracowanie oraz wykonanie odpowiedniej wiązki elektrycznej łączącej moduł sterownika ECUMASTER EMU BLACK z instalacją silnika TOYOTA 4Y. Wiązka musi spełniać wymagania niezawodnościowe i trwałościowe, odpowiadające warunkom pracy w agregacie trójgeneracyjnym.

W celu prawidłowej identyfikacji sygnału przekazywanego z czujników temperatury do systemu przetwarzania danych w sterowniku, konieczne było wykonanie charakterystyk czujników temperatury w zakresie mierzonej wartości temperatury. Ponadto istniała konieczność zadeklarowania w sterowniku parametrów sygnałów elektrycznych, pochodzących z wszystkich elementów osprzętu silnika, takich jak np.: cewki zapłonowe, różnego typu czujniki, elektrozawory mieszalnika gazu itp. oraz ich synchronizacji w systemie sterowania.

Przed zainstalowaniem nowego sterownika oraz jego wszystkich komponentów do badanego silnika, sporządzono charakterystykę parametrów roboczych silnika pracującego na standardowych ustawieniach sterownika fabrycznego.

Następnym krokiem była zabudowa w silniku nowego sterownika wraz z wszystkimi przewidzianymi komponentami oraz uruchomienie silnika w trybie testowym. Ten etap prac badawczych pozwolił na weryfikację działania poszczególnych komponentów systemu sterowania oraz wykonanie wstępnych prac kalibracyjnych dotyczących:

- Przygotowanie modelu oraz wykonanie charakterystyki przepustnicy powietrza,
- Zadeklarowanie macierzy:
  - kąta otwarcia przepustnicy,
  - kąta wyprzedzenia zapłonu,
  - otwarcia mieszalnika gazu,
- Zadeklarowanie parametrów regulatora PID prędkości obrotowej,
- Zadeklarowanie parametrów regulatora PID składu mieszanki,
- Zadeklarowanie parametrów bezpieczeństwa silnika spalinowego,
- Zadeklarowanie parametrów komunikacji sieci CAN.

Wyniki badań wstępnych silnika w trybie testowym z zastosowaniem nowego sterownika stanowiły podstawę do wykonania wstępnej optymalizacji systemu sterowania. Badania te

wskazały na konieczność opracowania i wykonania nowego mieszalnika gazowego o geometrii dostosowanej do opracowanego systemu regulacji silnika.

Następnie w kilkunastu kolejnych cyklach badań przeprowadzono procedurę optymalizacji pracy nowego sterownika, w oparciu o kryterium największej sprawności, przy zachowaniu najmniejszej emisji toksycznych składników spalin.

3.3. Aparatura badawcza i pomiarowa

W trakcie badań rejestrowano podstawowe parametry pracy silnika, zgodnie z wymaganiami Zleceniodawcy:

- wartość momentu obrotowego,
- zużycie paliwa,
- stężenie objętościowe składników spalin: CO, NOx, HC, CO_2, O_2
- temperatura spalin,
- temperatura powietrza w układzie dolotowym,
- temperatura czynnika chłodniczego.

W prowadzonych badaniach użyto następującej aparatury badawczej i wspomagającej oraz następujących systemów pomiarowych:

1. Hamulec silnikowy - Schenck Engine Dynometer typ-W70
2. Tensometryczny czujnik siły – odczyt momentu obciążającego silnik,
3. Indukcyjny przetwornik kąta OWK wraz z odczytem prędkości obrotowej
4. Zestaw akwizycji danych – National Instruments
5. Sterownik silnika typu ECUMASTER EMU BLACK
6. Przepływomierz objętościowy dla gazów typu COX-CPG84-AN-C-C02-L
7. Zestaw analizatorów gazowych - typu Arcon-Oliver – K4500
8. Zestaw analizatorów gazowych HORIBA MEXA 1500 GH
9. Zestaw gazów kalibrujących i roboczych
10. System pomiaru temperatury – termopary typu K i typu T, czujnik PT100:
    - T1 – Temperatura powietrza na wlocie do silnika
    - T2 – Temperatura spalin
    - T3 – Temperatura paliwa gazowego
    - T4 – temperatura cieczy chłodzącej
11. Mechaniczny filtr oczyszczania powietrza
12. Wentylator zasysający gazy
13. Filtry zabezpieczające gazomierz
14. Filtr powietrza układu wlotowego do silnika
15. Wymiennik ciepła płynu chłodzącego silnika

3.4. Metodyka prowadzenia pomiarów

Badania doświadczalne przeprowadzono na hamowni silnikowej Zakładu Silników Spalinowych Laboratorium Silników Spalinowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Silnik był zasilany gazem ziemnym z zestawu ciśnieniowych butli stalowych. Butle były napełniane gazem ziemnym typu E o wartości opałowej W_p = 33,13 MJ/m^3, w stacji ładowania w Krakowie przy ul. Balickiej. Zgodnie z zakresem badań, wyznaczonym

przez Zleceniodawcę, silnik badano w trakcie wykonywania charakterystyki obciążeniowej, sporządzanej podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową n = 1500 1/min i zmiennym obciążeniu. Zachowanie tych warunków pracy odpowiada współpracy silnika spalinowego z generatorem prądu elektrycznego.

Główne zmiany wprowadzone w silniku dotyczyły:

1. Opracowania nowego sterownika wraz z komponentami:
   - nowy moduł sterujący typu ECUMASTER EMU BLACK,
   - nowy program sterujący wraz z macierzami wspomagającymi,
   - nowa wiązka elektryczna łącząca moduł sterownika ECUMASTER EMU BLACK z instalacją silnika TOYOTA 4Y.
2. Opracowania systemu oczyszczania spalin wraz z komponentami:
   - katalityczny reaktor utleniająco redukujący (TWC),
   - sonda lambda szerokopasmowa typu Bosch LSU 4.2.

Pełny zakres badań składał się z pięciu części:

1. Badania wstępne – sporządzenie charakterystyki wyjściowej silnika,
2. Badanie silnika w trybie testowym na nowym sterowniku,
3. Badania optymalizacyjne prowadzone w oparciu o kryterium największej sprawności,
4. Badania optymalizacyjne prowadzone w oparciu o kryterium najmniejszej emisji toksycznych składników spalin,
5. Badanie końcowe - sporządzenie charakterystyki parametrów roboczych silnika i charakterystyki emisji składników spalin po zakończonym cyklu badań optymalizacyjnych.

Ad. 1 Badania wstępne przeprowadzono przed podjęciem właściwych badań po modyfikacji silnika. Polegały one na uruchomieniu silnika w kompletacji fabrycznej i przeprowadzenia identyfikacji pracy fabrycznego sterownika. Zestawiono odpowiednie tory pomiarowe i skalibrowano aparaturę badawczą. Wykonano wyjściową charakterystykę obciążeniową silnika na sterowniku fabrycznym i fabrycznych ustawieniach kąta wyprzedzenia zapłonu oraz współczynnika nadmiaru powietrza. Zgodnie z zakresem badań, wyznaczonym przez Zleceniodawcę, charakterystykę obciążeniową sporządzono podczas pracy silnika ze stałą prędkością obrotową n = 1500 1/min i zmiennym obciążeniu.

Ad. 2 Badania w trybie testowym polegały na uruchomieniu silnika wyposażonego w opracowany sterownik. Wykonano szereg charakterystyk kontrolnych, które sporządzono w celu zagwarantowania prawidłowej pracy silnika i uzyskania stałych, powtarzalnych wyników pomiarów wszystkich wielkości fizycznych, przed podjęciem właściwych badań optymalizacyjnych.

Ad.3. Badania optymalizacyjne prowadzone w oparciu o kryterium największej sprawności miały na celu określenie zakresu zmian kąta wyprzedzenia zapłonu oraz współczynnika nadmiaru powietrza, które gwarantują największą sprawność przetwarzania

energii w silniku spalinowym, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych parametrów roboczych (momentu obrotowego, mocy efektywnej).

Ad.4. Badania optymalizacyjne prowadzone w oparciu o kryterium najmniejszej emisji toksycznych składników spalin polegały na pomiarze stężenia gazowych, toksycznych składników spalin, takich jak: tlenek węgla CO, węglowodory HC, tlenki azotu NOx, a także na pomiarze stężenia dwutlenku węgla CO_2 oraz tlenu O_2. Znajomość wartości stężenia dwutlenku węgla CO_2 oraz tlenu O_2 w spalinach jest przydatna do oceny systemu spalania silnika.

AD.5. Badanie końcowe polegało na sporządzeniu zbiorczej charakterystyki parametrów roboczych silnika i charakterystyki emisji składników spalin po zakończonym cyklu badań optymalizacyjnych. Jako główne kryterium optymalizacyjne przyjęto minimalną wartość stężenia poszczególnych, toksycznych składników spalin, jaka może być osiągnięta przy jednoczesnym zachowaniu największej sprawności przetwarzania energii w silniku spalinowym i zachowaniu wymaganych parametrów roboczych (momentu obrotowego, mocy efektywnej).

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Obliczanie parametrów roboczych silnika

Moc efektywną silnika spalinowego wyznaczano z wartości momentu obrotowego zmierzonego na hamulcu elektrowirowym, przy danej, założonej prędkości obrotowej wału korbowego:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9550}, \tag{4.1}$$

gdzie:

N_e – moc efektywna, [kW],
M – moment obrotowy silnika, [Nm],
n – prędkość obrotowa wału korbowego, [1/min].

Wyliczona moc efektywna oraz zmierzone godzinowe zużycie paliwa pozwalają na wyznaczenie jednostkowego zużycia paliwa:

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_{pal}}{N_e}, \tag{4.2}$$

gdzie:

g_e – jednostkowe zużycie paliwa, [g/kWh],
G_{pal} – godzinowe zużycie paliwa, [kg/h],
N_e – moc efektywna, [kW].

Kolejnym parametrem, który obliczano jest sprawność ogólna silnika, którą wyznaczano ze znanej dolnej wartości opałowej paliwa i obliczonego jednostkowego zużycia paliwa:

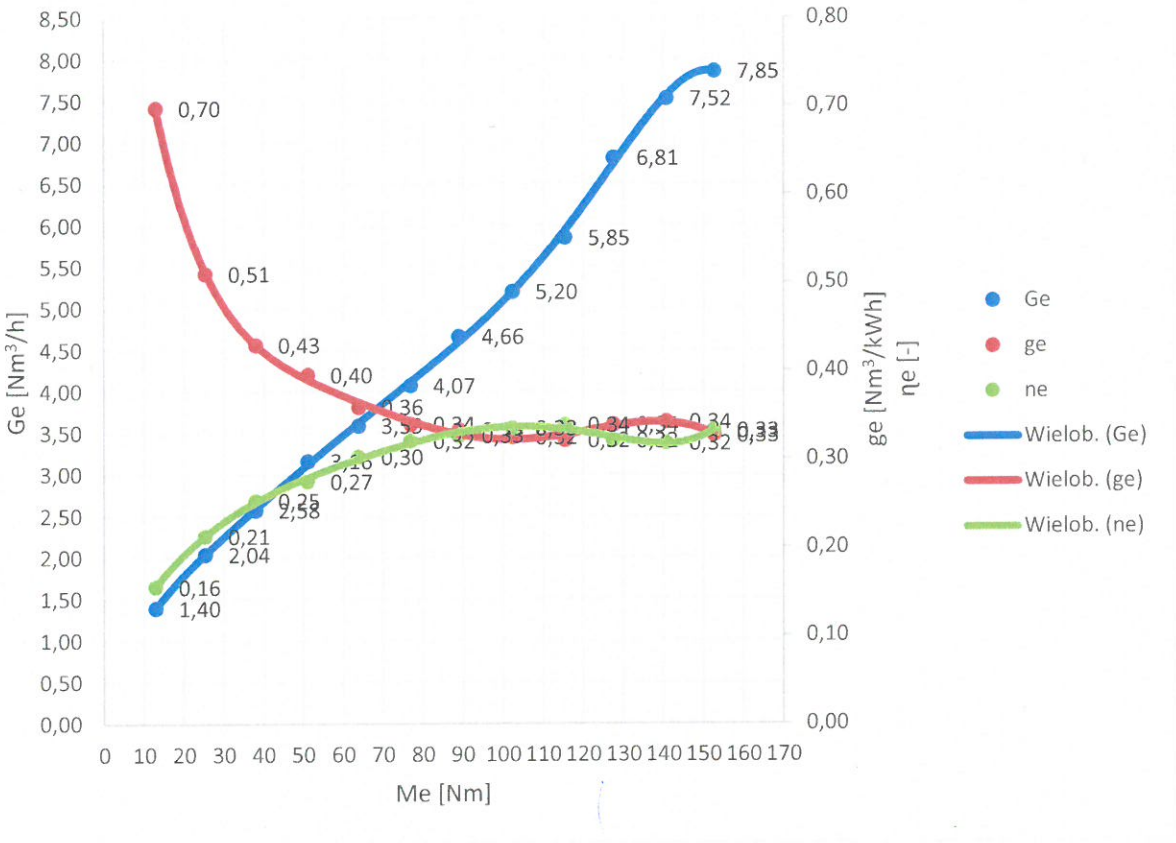
$$\eta_o = \frac{3600}{g_e \cdot W_d}, \tag{4.3}$$

gdzie:

η_o – sprawność ogólna, [-],
g_e – jednostkowe zużycie paliwa, [g/kWh],
W_d – dolna wartość opałowa paliwa, [MJ/kg].

4.2. Wyniki badań wstępnych

Celem badań wstępnych, przeprowadzonych w standardowej, fabrycznej kompletacji silnika, miały na celu określenie parametrów referencyjnych, w stosunku do parametrów uzyskanych po modyfikacji systemu sterowania i systemu zasilania. Badania te polegały na wykonaniu wyjściowej charakterystyki obciążeniowej, sporządzonej podczas pracy silnika ze stała prędkością obrotową, wynoszącą n = 1500 1/min. Silnik był wyposażony w fabryczny sterownik, gwarantujący fabryczne ustawienia kąta wyprzedzenia zapłonu oraz współczynnika nadmiaru powietrza. Pierwsza z charakterystyk wstępnych (Rys. 4.1.) dotyczyła parametrów roboczych silnika.



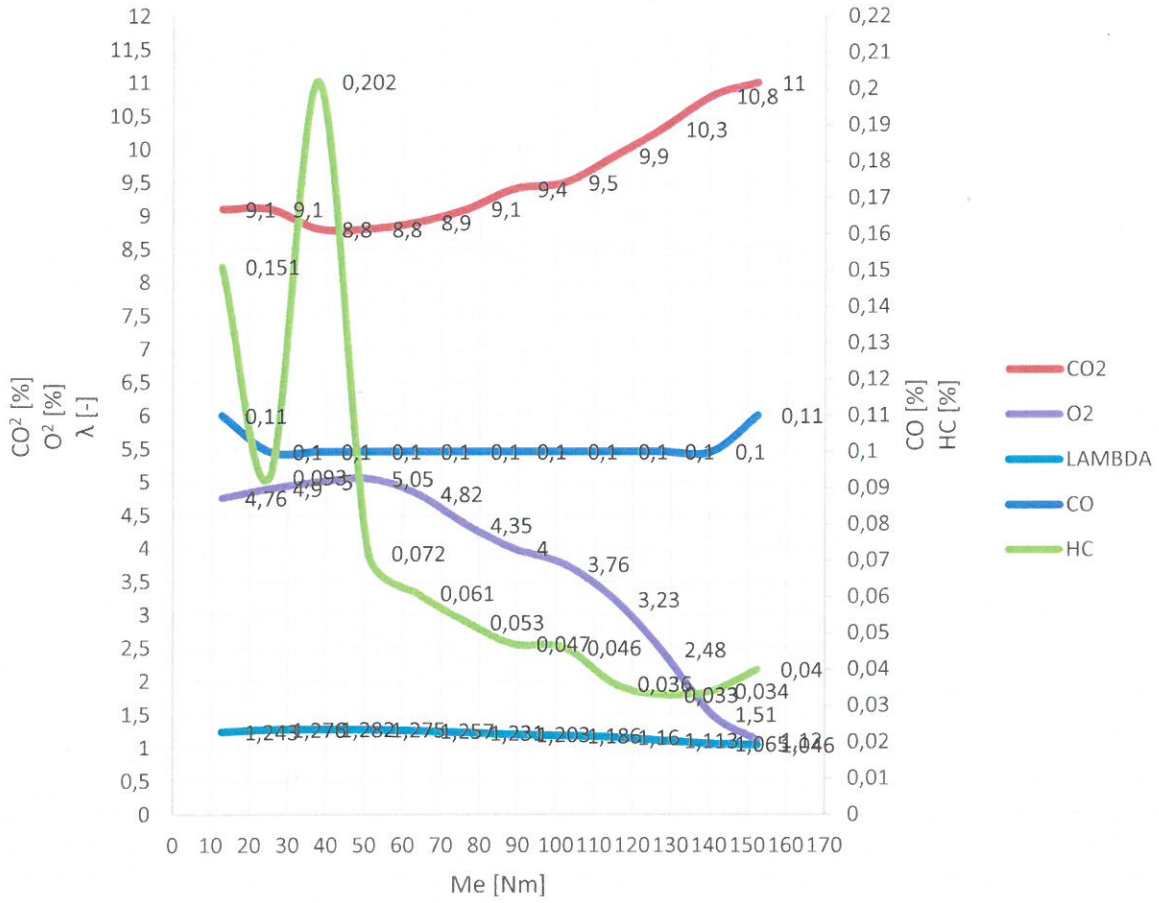
Rys.4.1. Charakterystyka wstępna standardowej wersji silnika Toyota 4Y (n = 1500 1/min)

Charakterystyka ta przedstawia zależność przebiegu godzinowego zużycia paliwa (G_e – linia niebieska), jednostkowego zużycia paliwa (g_e – linia czerwona) oraz sprawności ogólnej (n_e – linia zielona). Zmierzone wartości parametrów silnika odpowiadają wartościom deklarowanym przez producenta silnika. Maksymalna sprawność przetwarzania energii wynosząca ok. 32-33 % osiągana jest w zakresie średniego i dużego obciążenia silnika
Na rysunku 4.2 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego wybranych składników spalin oraz przebieg współczynnika nadmiaru powietrza podczas wstępnych badań silnika Toyota 4Y przed przystąpieniem do cyklu badań zasadniczych. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.

Na rysunku przedstawiono:

- przebieg stężenia objętościowego dwutlenku węgla CO_2 (CO_2 – linia czerwona),
- przebieg stężenia objętościowego tlenu O_2 (O_2 – linia fioletowa),

- przebieg stężenia objętościowego tlenku węgla CO (CO – linia granatowa),
- przebieg stężenia objętościowego węglowodorów HC (HC – linia zielona),
- przebieg współczynnika nadmiaru powietrza λ (lambda) (λ – linia niebieska).

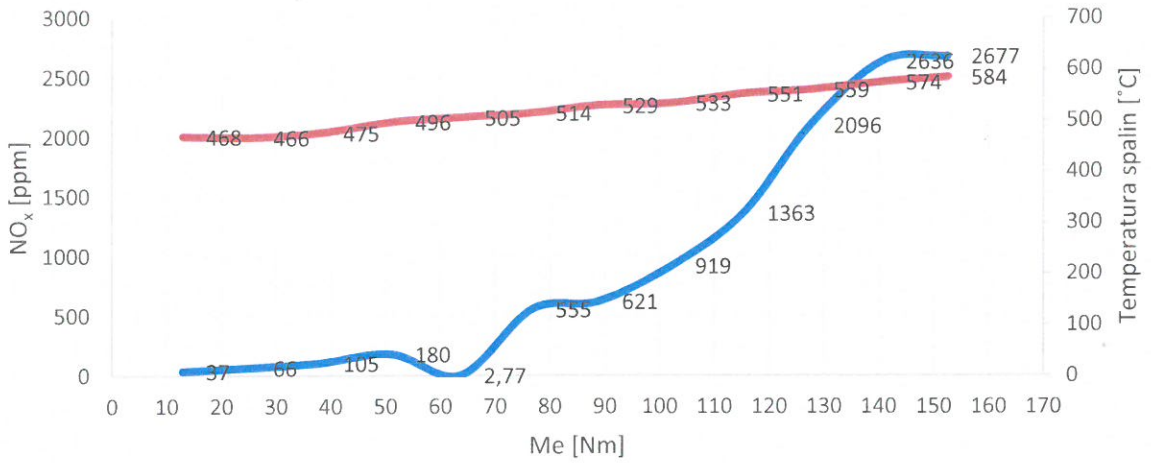


Rys.4.2. Przebieg stężenia wybranych składników spalin i przebieg współczynnika nadmiaru powietrza w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min) – silnik w wersji standardowej

W standardowej wersji silnik nie był wyposażony w reaktor katalityczny. W celu uzyskania korzystnych wartości stężenia tlenku węgla CO i węglowodorów HC w spalinach, zastosowano ubogą regulację składu mieszanki.

Na rysunku 4.3 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x oraz przebieg temperatury spalin, mierzonej bezpośrednio na wylocie spalin z kolektora wylotowego, podczas badań silnika Toyota 4Y. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono zależność:

- przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x (NO_x – linia niebieska),
- przebieg temperatury gazów wylotowych (linia czerwona).



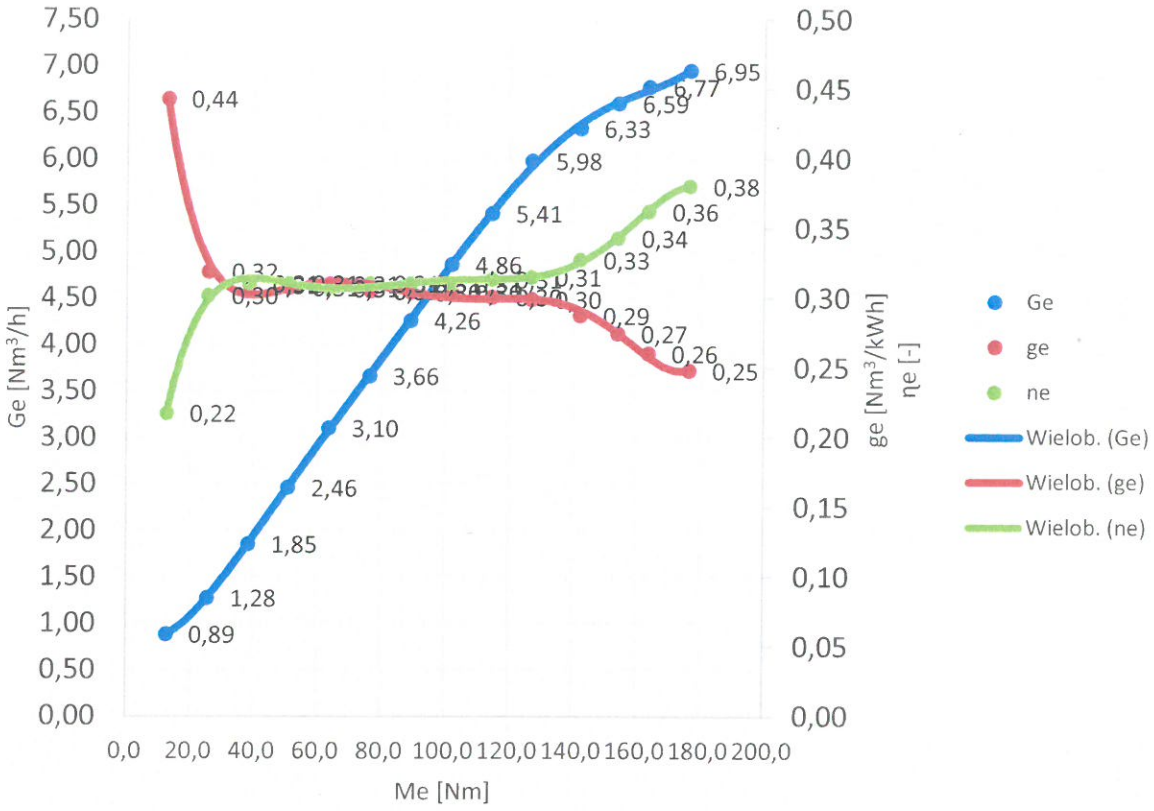
Rys.4.3. Przebieg stężenia tlenków azotu i przebieg temperatury gazów wylotowych w funkcji obciążenia silnika (n = 1500 1/min) – silnik w wersji standardowej

Uboga regulacja składu mieszanki zasilającej silnik w wersji standardowej skutkuje dużym stężeniem tlenków azotu. W zakresie małego obciążenia temperatura procesu nie jest duża, w związku z tym stężenie tlenków azotu NOx nie osiąga dużej wartości, natomiast w zakresie średniego i dużego obciążenia wzrost temperatury oraz dostępność tlenu skutkuje dużym zwiększeniem wartości stężenia, przekraczającego wartość 2600 ppm.

4.3. Wyniki badań optymalizacyjnych

Badania optymalizacyjne prowadzono w oparciu o kryterium uzyskania największej sprawności ogólnej silnika, a jednocześnie najmniejszej emisji toksycznych składników spalin. Główne działania sprowadzały się do określenia wartości kąta wyprzedzenia zapłonu oraz współczynnika nadmiaru powietrza dla każdego z punktów pomiarowych, które gwarantują największą sprawność przetwarzania energii w silniku spalinowym, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych parametrów roboczych (momentu obrotowego, mocy efektywnej) i najmniejszego stężenia toksycznych składników spalin (tlenek węgla CO, węglowodory HC, oraz tlenki azotu NOx). Z uwagi na zastosowanie katalitycznego reaktora utleniająco-redukującego (TWC) zakres zmian wartości współczynnika nadmiaru powietrza był ograniczony do zakresu λ = (0,97 – 1,03, tzw. okna lambda), w którym jednocześnie istniały warunki do utleniania tlenku węgla CO i węglowodorów HC oraz redukcji tlenków azotu NOx.

Na rysunku 4.4. przedstawiono przebieg głównych parametrów roboczych silnika, po wykonaniu działań optymalizacyjnych.

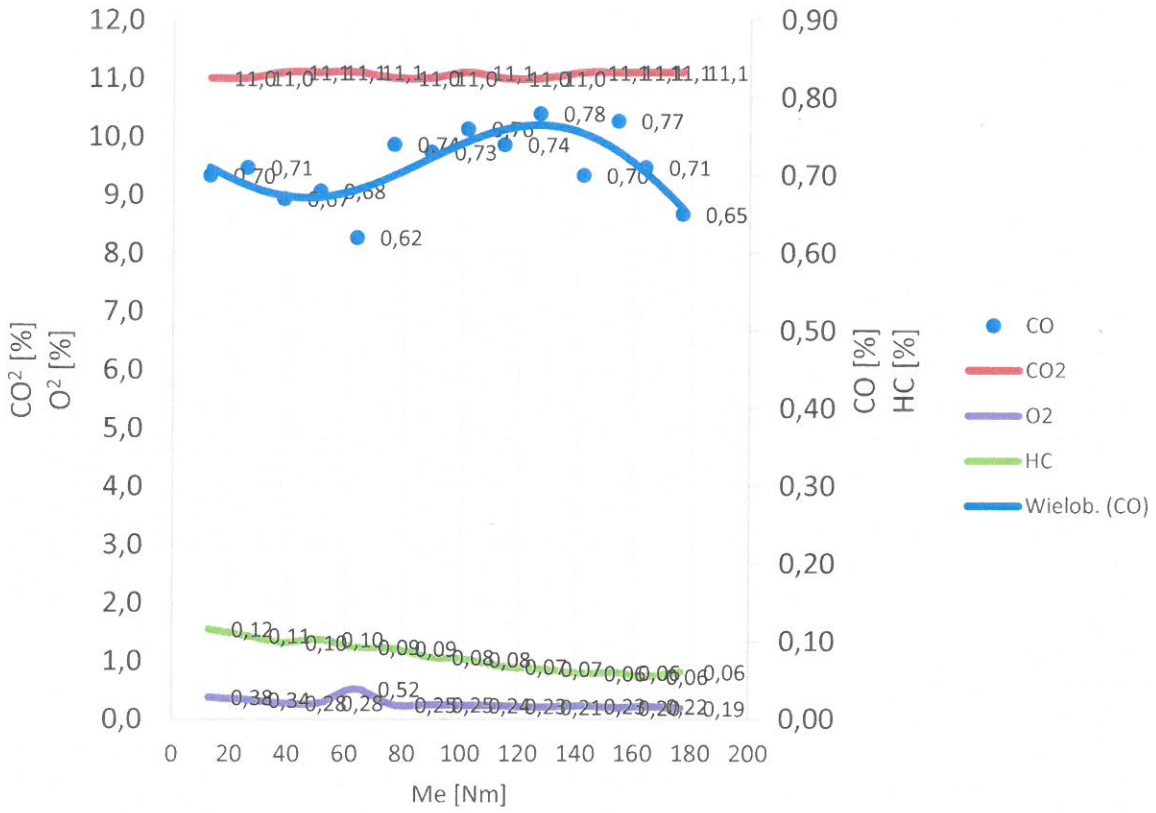


Rys.4.4. Charakterystyka parametrów roboczych silnika Toyota 4Y po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

Charakterystyka ta przedstawia zależność przebiegu godzinowego zużycia paliwa (G_e – linia niebieska), jednostkowego zużycia paliwa (g_e – linia czerwona) oraz sprawności ogólnej (n_e – linia zielona). Maksymalna sprawność przetwarzania energii osiąga wartość 38% podczas pracy silnika z dużym obciążeniem, natomiast wartość wynosząca ok. 30-33 % osiągana jest już w zakresie małego i średniego obciążenia silnika Stanowi to potwierdzenie, że po wprowadzeniu zmian optymalizacyjnych zmierzone wartości parametrów silnika w całym zakresie charakterystyki obciążeniowej są znacząco korzystniejsze, w stosunku do wartości zmierzonych dla standardowej wersji silnika.

Na rysunku 4.5 przedstawiono przebieg stężenia objętościowego wybranych składników spalin oraz przebieg współczynnika nadmiaru powietrza mierzonych przed reaktorem katalitycznym po wykonaniu zmian optymalizacyjnych silnika Toyota 4Y. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono:

- przebieg stężenia objętościowego dwutlenku węgla CO_2 (CO_2 – linia czerwona),
- przebieg stężenia objętościowego tlenu O_2 (O_2 – linia fioletowa),
- przebieg stężenia objętościowego tlenku węgla CO (CO – linia granatowa),
- przebieg stężenia objętościowego węglowodorów HC (HC – linia zielona),
- przebieg współczynnika nadmiaru powietrza λ (lambda) (λ – linia niebieska).



Rys.4.5. Przebieg stężenia wybranych składników spalin i przebieg współczynnika nadmiaru powietrza w funkcji obciążenia silnika Toyota 4Y przed reaktorem katalitycznym po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

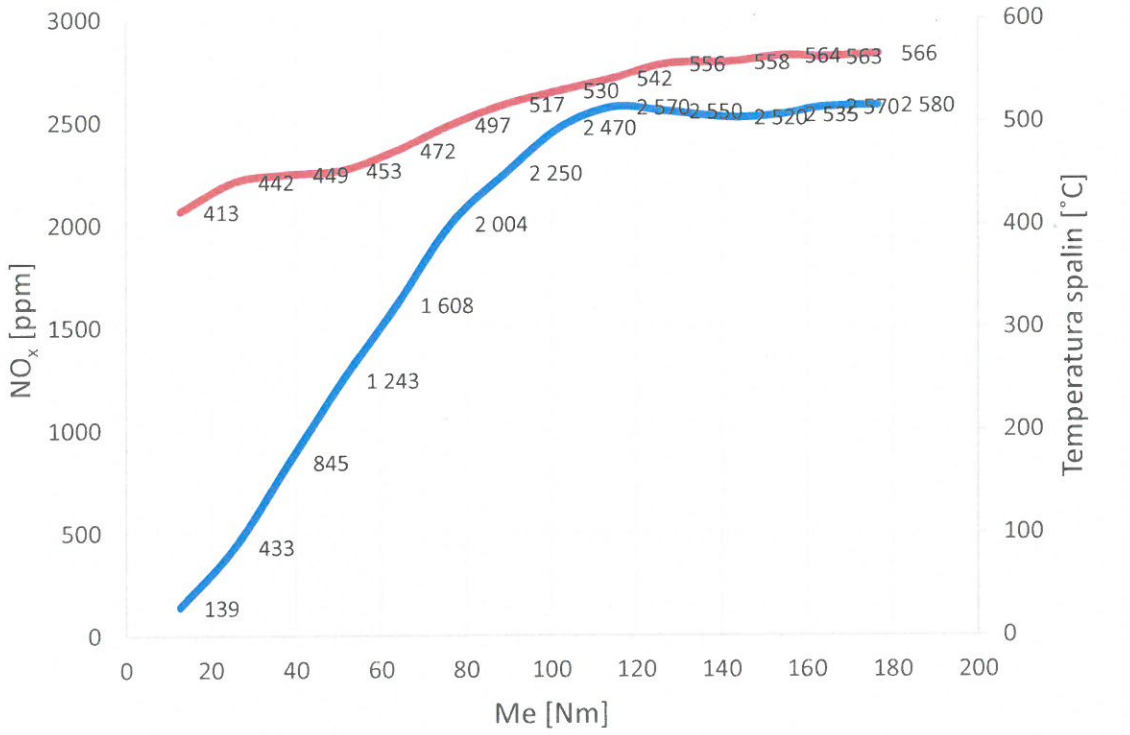
Podczas pomiaru stężenia składników spalin przed reaktorem katalitycznym, stężenie tlenku węgla CO i węglowodorów HC ma większą wartość, niż wykazały pomiary stężenia tych składników podczas badań standardowej wersji silnika. Wynika to ze zmiany współczynnika nadmiaru powietrza, który w wyniku prac optymalizacyjnych przyjmował wartość zbliżoną do składu stechiometrycznego. Ma to związek z zastosowaniem reaktora katalitycznego, który wymaga zasilania silnika mieszanką o składzie zbliżonym do stechiometrycznego.

Na rysunku 4.6. przedstawiono przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x przed reaktorem katalitycznym oraz przebieg temperatury spalin, mierzonej bezpośrednio na wylocie spalin z kolektora wylotowego, podczas badań po wykonaniu zmian optymalizacyjnych silnika Toyota 4Y. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono zależność:

- przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x (NO_x – linia niebieska),
- przebieg temperatury gazów wylotowych (linia czerwona).

W standardowej wersji silnika uboga regulacja składu mieszanki zasilającej silnik skutkuje dużym stężeniem tlenków azotu NOx. Po wprowadzeniu zmian optymalizacyjnych i zasilaniu silnika mieszanką zbliżoną do składu stechiometrycznego, w zakresie małego i średniego obciążenia stężenie NOx zwiększa się proporcjonalnie do wzrostu wartości temperatury. W zakresie dużego obciążenia silnika wzrost temperatury zwiększenie wartości

stężenia, przy czym maksymalne wartości stężenia NOx są mniejsze, niż dla standardowej wersji silnika, co wynika głównie z mniejszej dostępności tlenu.

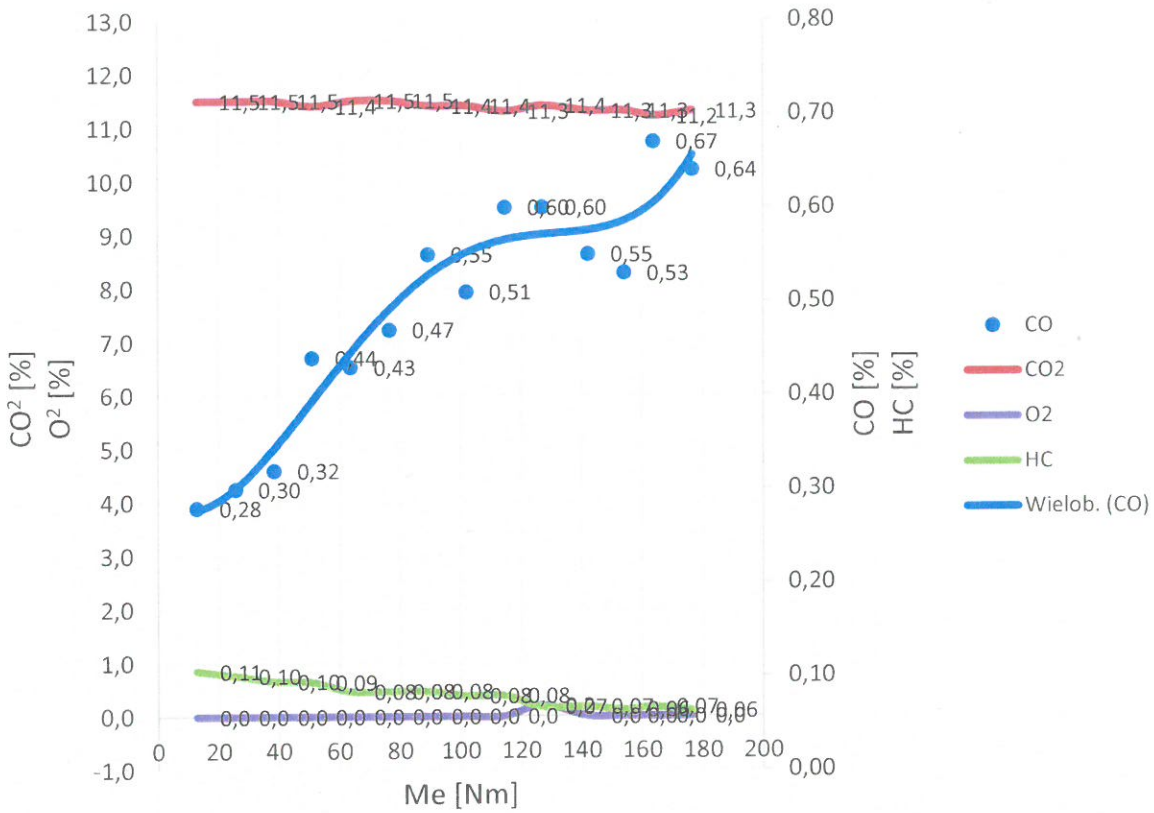


Rys.4.6. Przebieg stężenia tlenków azotu i przebieg temperatury gazów wylotowych w funkcji obciążenia silnika Toyota 4Y przed reaktorem katalitycznym po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

Na rysunku 4.7. przedstawiono przebieg stężenia objętościowego wybranych składników spalin oraz przebieg współczynnika nadmiaru powietrza mierzonych za reaktorem katalitycznym, po wykonaniu zmian optymalizacyjnych silnika Toyota 4Y. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.
Na rysunku przedstawiono:

- przebieg stężenia objętościowego dwutlenku węgla CO_2 (CO_2 – linia czerwona),
- przebieg stężenia objętościowego tlenu O_2 (O_2 – linia fioletowa),
- przebieg stężenia objętościowego tlenku węgla CO (CO – linia granatowa),
- przebieg stężenia objętościowego węglowodorów HC (HC – linia zielona),
- przebieg współczynnika nadmiaru powietrza λ (lambda) (λ – linia niebieska).

Podczas pomiaru stężenia składników spalin z reaktorem katalitycznym, stężenie tlenku węgla CO i węglowodorów HC ma mniejszą wartość, co wynika z utleniającego działania reaktora katalitycznego. Ponieważ badania optymalizacyjne składu spalin były skierowane na uzyskanie małego stężenia tlenków azotu NOx, konieczna była praca silnika na nieco wzbogaconym składzie mieszanki, dzięki któremu uzyskano oczekiwany rezultat redukcji tlenków azotu. Wynika z tego mniejszy efekt konwersji tlenku węgla CO.



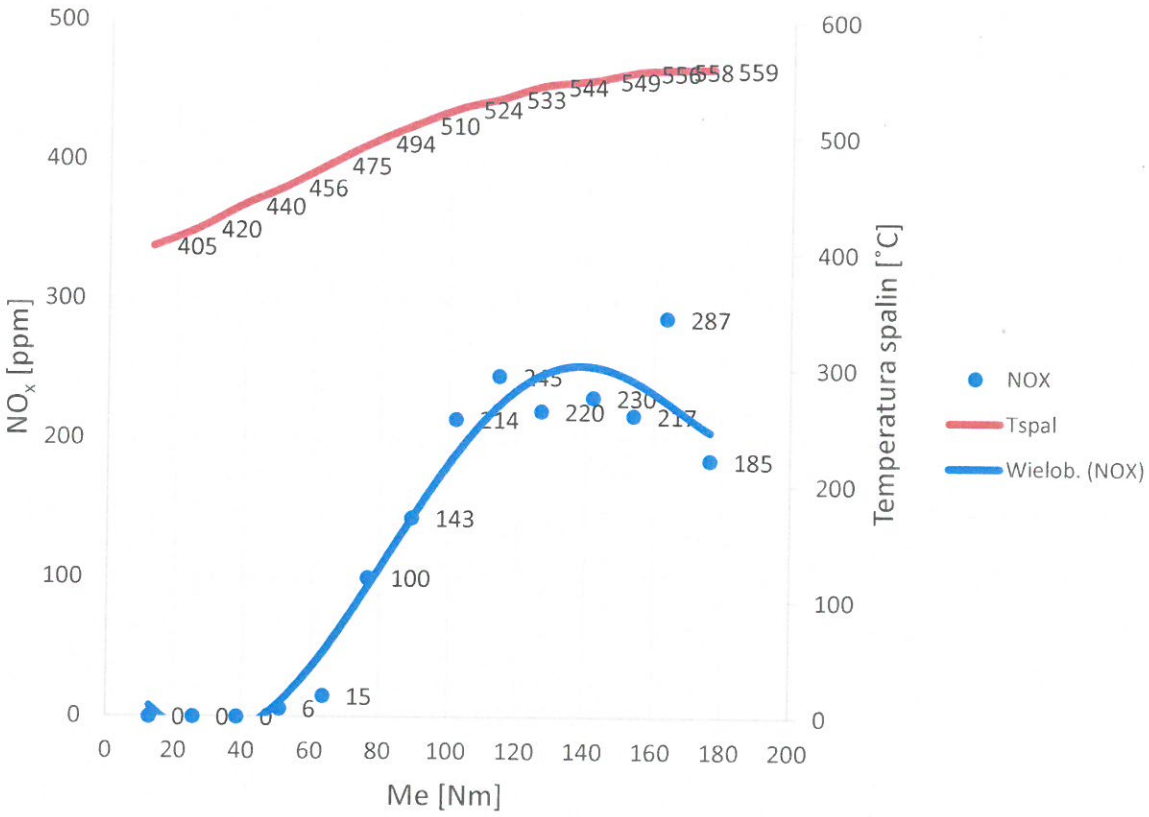
Rys.4.7. Przebieg stężenia wybranych składników spalin i przebieg współczynnika nadmiaru powietrza w funkcji obciążenia silnika Toyota 4Y przed reaktorem katalitycznym po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

Na rysunku 4.8. przedstawiono przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x za reaktorem katalitycznym oraz przebieg temperatury spalin, mierzonej bezpośrednio na wylocie spalin z kolektora wylotowego, podczas badań po wykonaniu zmian optymalizacyjnych silnika Toyota 4Y. Podane wartości są przedstawione w funkcji obciążenia silnika.

Na rysunku przedstawiono zależność:

- przebieg stężenia objętościowego tlenków azotu NO_x (NO_x – linia niebieska),
- przebieg temperatury gazów wylotowych (linia czerwona).

Po wprowadzeniu zmian optymalizacyjnych i zasilaniu silnika mieszanką zbliżoną do składu stechiometrycznego w całym zakresie pracy silnika nastąpiło około 10-krotne zmniejszenie stężenia tlenków azotu. W zakresie małego i średniego obciążenia stężenie NOx osiąga wartość rzędu 100 ppm, natomiast zakresie dużego obciążenia silnika osiąga wartość rzędu 200 ppm. W odniesieniu do silnika zasilanego gazem ziemnym otrzymany rezultat można uznać za bardzo dobry.



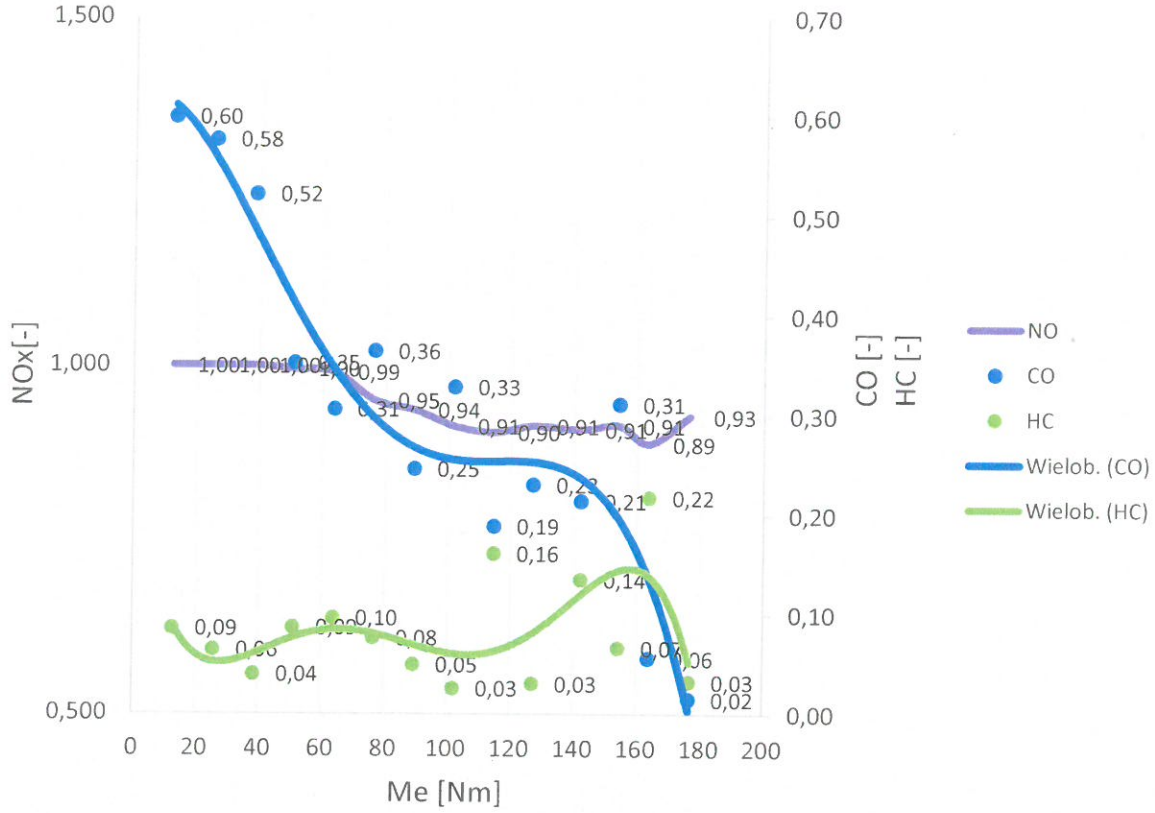
Rys.4.8. Przebieg stężenia tlenków azotu i przebieg temperatury gazów wylotowych w funkcji obciążenia silnika Toyota 4Y za reaktorem katalitycznym po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

Efekty wprowadzenia optymalizacji pracy silnika Toyota 4Y w aspekcie zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin zostały przedstawione na rys. 4.9. Zaprezentowano na nim charakterystyki konwersji poszczególnych składników spalin.

Konwersja tlenku węgla w reaktorze katalitycznym osiągała wartość od 10 do 60 % w zależności od obciążenia silnika. W zakresie małego i średniego obciążenia uzyskano większy stopień konwersji, ponieważ nie było potrzeby wzbogacania mieszanki w celu zwiększenia efektywności redukcji tlenków azotu. W miarę wzrostu obciążenia konwersja była mniejsza, ponieważ była potrzeba zwiększenia udziału tlenku węgla, potrzebnego do redukcji zwiększonego udziału tlenków azotu w spalinach.

Konwersja węglowodorów w całym zakresie badań osiągała wartość około 10%. Tak mała wartość konwersji węglowodorów wynikała z charakterystycznych cech stosowanego paliwa, którym był gaz ziemny. Głównym składnikiem gazu ziemnego jest metan, który jest stabilnym związkiem chemicznym, trudnym do utleniania w reaktorze utleniającym. Ma on również słabe właściwości redukujące.

Największym osiągnięciem w zakresie zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin jest radykalne zmniejszenie stężenia tlenków azotu NOx. Było to głównym celem prowadzonych badań optymalizacyjnych. W stosunku do standardowej wersji silnika osiągnięto efekt ponad 10-krotnego zmniejszenia stężenia tlenków azotu NOx, przy zachowaniu wymaganych wartości stężenia tlenku węgla CO i węglowodorów HC.



Rys.4.9. Konwersja tlenku węgla CO, węglowodorów HC i tlenków azotu NOx w funkcji obciążenia silnika Toyota 4Y w reaktorze katalitycznym po wykonaniu działań optymalizacyjnych (n = 1500 1/min)

5. PRACE APLIKACYJNE I WDROŻENIOWE

Wyniki badań, uzyskane w ramach laboratoryjnej części projektu zostały wdrożone w użytkowanym agregacie trójgeneracyjnym, znajdującym się w hotelu „Turówka" we Wieliczce. Zakres prac aplikacyjno-wdrożeniowych dotyczył zabudowy katalitycznego reaktora utleniająco-redukującego do układu wylotowego silnika oraz aplikacji opracowanego systemu sterowania wraz z wszystkimi komponentami.

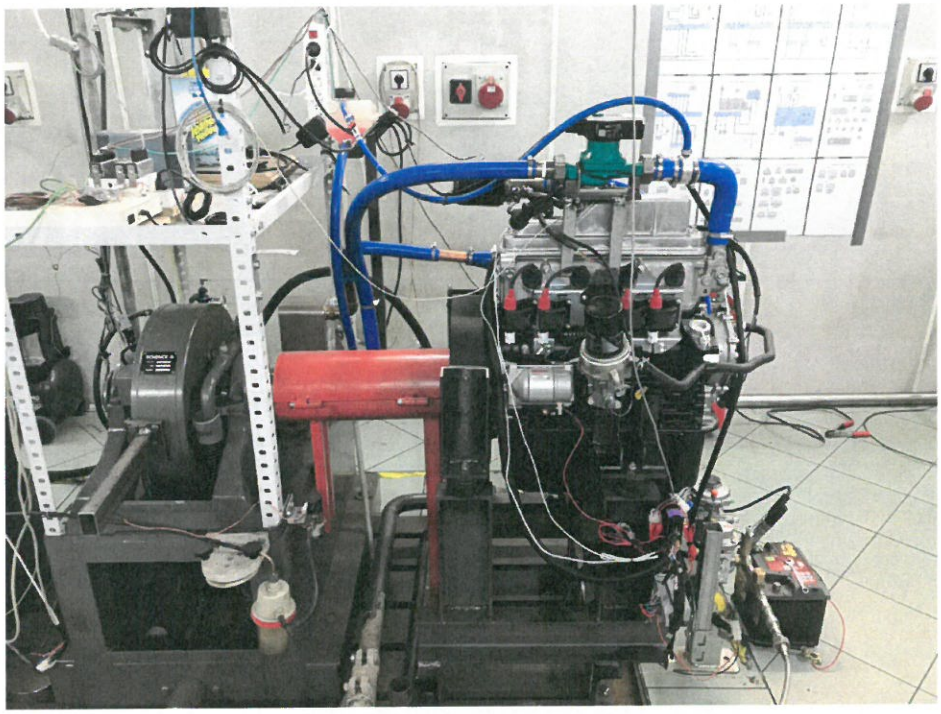
Uzyskanym efektem jest zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin oraz zwiększenie sprawności przetwarzania energii. Efektem dodatkowym jest uzyskanie większej stabilności pracy systemu w warunkach zmiennego obciążenia, co wpływa na zwiększenie niezawodności pracy agregatu trójgeneracyjnego. Opracowany system sterowania silnika tłokowego Toyota 4Y gwarantuje spełnienie aktualnych wymagań zawartych w normach dotyczących agregatów prądotwórczych.

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania upoważniają do przedstawienia następujących, najważniejszych wniosków:

1. Opracowany sterownik został stworzony w oparciu o nowoczesne, powszechnie dostępne komponenty i prezentuje współczesny poziom wiedzy dotyczącej sterowania parametrami silników spalinowych pracujących w agregatach prądotwórczych.
2. Dzięki zastosowaniu elektronicznych systemów sterowania osiągnięto efekt zwiększenia sprawności przetwarzania energii. Sprawność ogólna silnika zwiększyła się o kilka procent w całym zakresie jego pracy.
3. Zastosowany sterownik typu ECUMASTER EMU BLACK jest powszechnie dostępnym sterownikiem wolnego oprogramowania, który ma duży potencjał rozwojowy. Opracowane w Politechnice Krakowskiej oprogramowanie sterownika umożliwia przesyłanie parametrów pracy silnika oraz wszelkich pomocniczych sygnałów sterujących poprzez sieć CAN.
4. Zastosowanie nowoczesnego systemu oczyszczania spalin za pomocą katalitycznego reaktora utleniająco-redukującego przyniosło wymierne efekty w postaci zmniejszenia emisji gazowych składników spalin.
5. Prowadzone prace ukierunkowane były głównie na zmniejszenie emisji tlenków azotu. W tym zakresie uzyskano bardzo dobre efekty ponad 10-krotnego zmniejszenia emisji tlenków azotu, przy zachowaniu dopuszczalnej emisji pozostałych składników spalin.
6. Opracowane oprogramowanie sterownika w pełnym zakresie spełnia wymagania stawiane tego typu nowoczesnym systemom stosowanym w agregatach prądotwórczych. Sterownik gwarantuje utrzymanie stabilnej pracy silnika w zakresie założonej prędkości obrotowej, co zostało potwierdzone w badaniach stanowiskowych oraz stwierdzone w użytkowanym agregacie trójgeneracyjnym, znajdującym się w hotelu „Turówka" we Wieliczce.
7. Oprogramowanie opracowanego sterownika spełnia wytyczne dotyczące utrzymania prędkości obrotowej silnika, podczas szybkiej zmiany obciążenia. W pełni został spełniony obowiązujący w normie warunek, który dopuszcza zmianę prędkości obrotowej w zakresie +10% i -15% i ustabilizowanie jej wartości w czasie nie dłuższym niż 10 s.

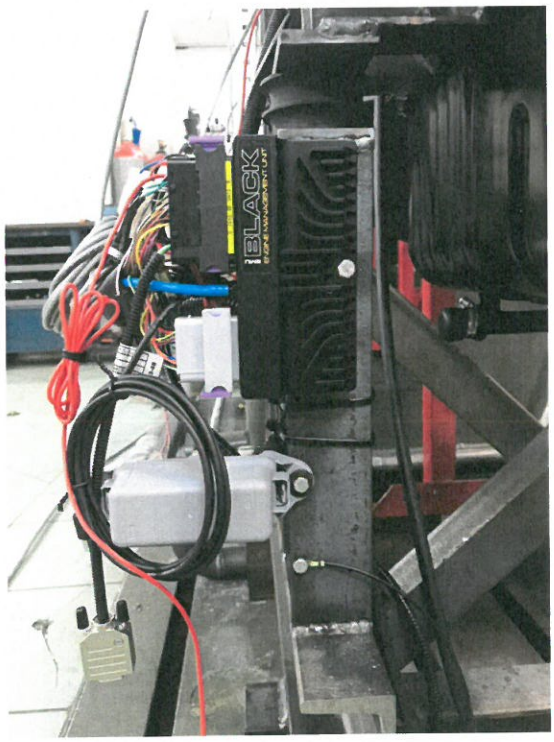
7. DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA



Fot. 1. Stanowisko badawcze w laboratorium silników spalinowych Politechniki Krakowskiej

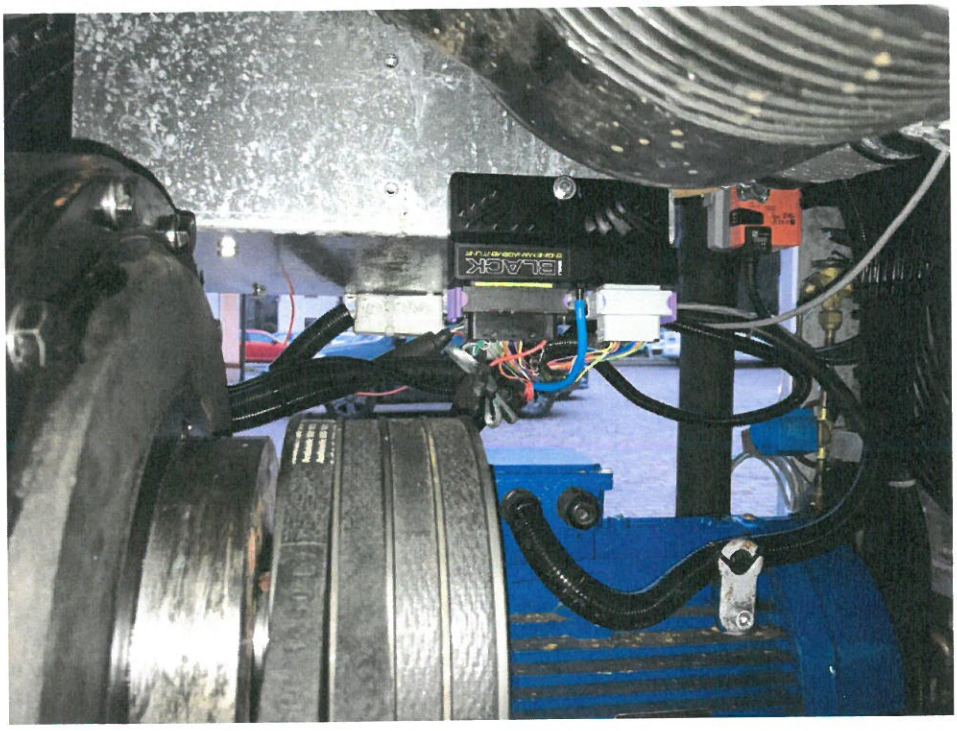
Fot. 2. Użyty w badaniach analizator HOROBA MEXA 1500GH wraz z zestawem butli z gazami roboczymi i kalibracyjnymi

Fot. 3. Panel sterownika hamulca elektrowirowego Schenck typ W70.



Fot. 4. Zastosowany w badaniach sterownik ECUMASTER EMU BLACK

Fot. 5. Zastosowany w badaniach katalityczny reaktor utleniająco-redukujący



Fot. 6. Sterownik zabudowany w agregacie trójgeneracyjnym (hotel „Turówka")

Fot. 7. Reaktor katalityczny zabudowany w agregacie trójgeneracyjnym (hotel „Turówka")

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
im. Tadeusza Kościuszki
Instytut Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych
31-864 Kraków, al.Jana Pawła II 37
tel.12-628-35-30, fax 12-648-13-44
NIP: 675-000-62-57 (1)

Załącznik nr 7

PROTOKÓŁ ZDAWCZO-ODBIORCZY[1)]

W dniu 13 GRU. 2019 roku w siedzibie: Instytutu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej dokonano przekazania i odbioru prac stanowiących przedmiot zawartej w dniu 03.09.2019 r. umowy nr M-04/337/2019/P pomiędzy:

FRAPOL Sp. z o.o.
30-832 Kraków, ul. Mierzeja Wiślana 8 NIP: 679-008-51-68
jako Zamawiającym,

a **Politechniką Krakowską im. Tadeusza Kościuszki**
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
jako Wykonawcą.

Określenie wykonanych prac:
Prace optymalizacyjne silników do gazowego agregatu trójgeneracyjnego.

Przekazania – odbioru prac dokonała Komisja w składzie:

Przedstawiciele Zamawiającego[2)]:	Przedstawiciele Wykonawcy:
1 Piotr Mazur	1. dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK
2.	2. mgr inż. Mateusz Szramowiat
3	3. .....

Ustalenia Komisji dotyczące wyników pracy badawczej oraz ocena zgodności wykonania z postanowieniami zawartej umowy:
.....zgodnie z zawartą umową.....

Wnioski i zastrzeżenia Komisji odnośnie wykonanych prac:
.....wnioskowane jest wystawienie faktury .....

Nazwa i adres jednostki wdrażającej (wykorzystującej wyniki pracy badawczej), zakres i forma wdrożenia (wykorzystania) oraz informacja o warunkach zapewniających wdrożenie (wykorzystanie) wyników wykonywanych prac:
FRAPOL Sp. z o.o.
30-832 Kraków, ul. Mierzeja Wiślana 8

Określenie sposobu zagospodarowania składników majątkowych zakupionych lub wytworzonych trakcie wykonywania pracy badawczej:
Po zakończeniu badań nastąpi przekazanie próbek badawczych do Zleceniodawcy, zgodnie z § 2 pkt. 3 Umowy.

Wykonawca stwierdza, że w trakcie realizacji pracy stanowiącej przedmiot zawartej umowy wykorzystane zostały następujące projekty wynalazcze:
.....nie dotyczy.....

W związku z powyższym, Zamawiający przejmuje na siebie obowiązki wynikające z przepisów prawa wynalazczego – w przypadku zastosowania wyników wykonanych prac w działalności gospodarczej prowadzonej przez siebie.

Protokół zdawczo-odbiorczy został sporządzony w 2 jednobrzmiących egzemplarzach (po jednym dla Zamawiającego i Wykonawcy) i stanowi podstawę do wystawienia faktury ~~przejściowej~~/końcowej[3] za wykonanie etapu lub całości prac ujętych zawartą umową.

Podpisy członków Komisji:
Przedstawiciele Zamawiającego:

1. Piotr Mazur
2. .....
3. .....

Przedstawiciele Wykonawcy:

1. .....
2. .....
3. .....

Zatwierdzenie ustaleń Komisji

Z-ca Kierownika Badawczo Rozwojowego
POIR.01.01.01-00-0720/16
FRAPOL Sp. z o.o.
Piotr Mazur

.....
Pieczęć i podpis Zamawiającego

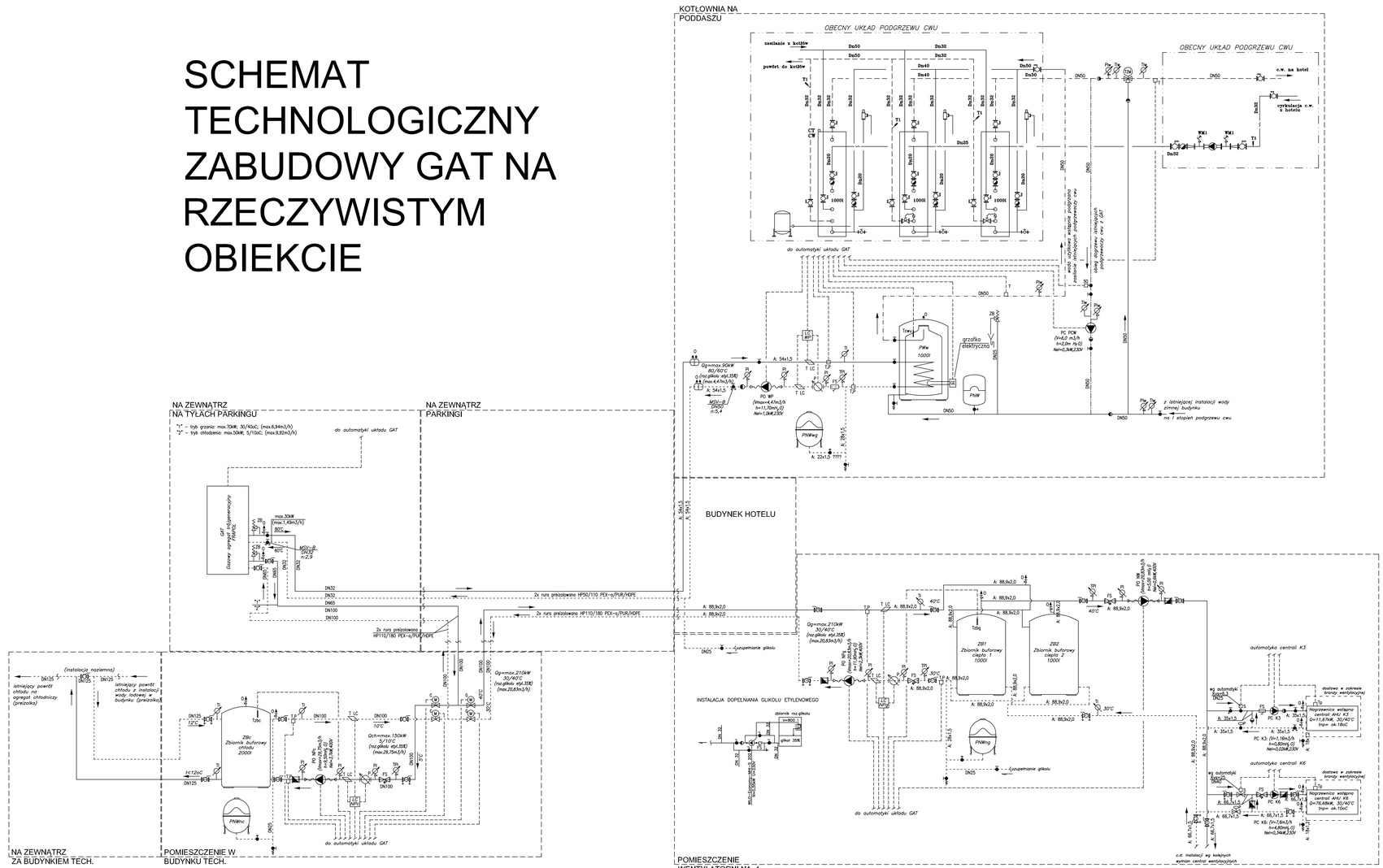
.....
Podpis kierownika tematu
Dyrektor
Instytutu Pojazdów Samochodowych
i Silników Spalinowych
Dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK

.....
Pieczęć i podpis kierownika jednostki organizacyjnej wydziału/JP

---

[1] *Po uzyskaniu wymaganych podpisów w terminie 7 dni, protokół przekazać do Działu Badań Naukowych*
[2] *Osoby posiadające pełnomocnictwo*
[3] *Niepotrzebne skreślić*

SCHEMAT TECHNOLOGICZNY ZABUDOWY GAT NA RZECZYWISTYM OBIEKCIE



UWAGI:

1. Specyfikacja urządzeń w opisie technicznym.
2. Przed przystąpieniem do montażu zapoznać się szczegółowo z DTR-mi urządzeń i osprzętu.
3. Warunkiem prawidłowej pracy układu w przedstawionym schemacie technologicznym jest praca wszystkich GAT w tym samym trybie pracy.
4. Sprawdzić jakl rozteór glikolu etylenowego krazy w istniejącej instalacji chłodu.
5. Uzupełnienie utoku roz.glikolu etylenowego po stronie chłodu z dotychczasowego uzupełniania dla obiegu agregatu chłodniczego.
6. Przyjęto, że GAT będą pracowały równolegle z zaopatrzeniem ciepła/chłodu w budynku (zaprojektowane zbiorniki buforowe pełnią bardziej funkcję sprzęgła hydraulicznego niż magazynu ciepła/chłodu).
7. Należy wyposażyć wszystkie centrale wentylacyjne w nagrzewnice wstępne powietrza (za odzyskiem ciepła o przed nagrzewnicą i chłodnicą właściwą).
8. Uzupełnienie roz. glikolu w instalacjach następuje po otrzymaniu przez obsługę sygnału z automatyki układu o spadku ciśnienia w instalacji i po uprzednim sprawdzeniu przyczyny ubytku.
9. Przy temp. zewnętrznej +15oC z kródców niskiego parametru GAT będziemy mieć chłód 5/10oC. Poniżej tej temperatury z kródców niskiego parametru będziemy otrzymywać medium grzewcze o parametrach 30/40. Urządzenie (GAT) fabrycznie ma ustawiony próg na 12oC (należy przestawić).

LEGENDA

- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 5oC (zasilanie z GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 10oC (powrót na GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 40oC (zasilanie z GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 30oC (powrót na GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, z kródców niskiego parametru GAT (zasilanie z GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, z kródców niskiego parametru GAT (powrót na GAT)
- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 80oC (zasilanie z GAT) } z kródców wysokiego parametru GAT
- Rozr.glikolu etyl. 35%, temp.czynnika 60oC (powrót na GAT) } z kródców wysokiego parametru GAT
- Przewody impulsowe
- Woda użytkowa zimna z sieci wodociągowej
- Woda użytkowa wstępnie podgrzana (kierowana do istniejących podgrzewaczy cwu)
- Woda użytkowa cyrkulacyjna
- GAS — GAS — Gaz ziemny GZ50

OZNACZENIA

GAT – gazowy agregat trójgeneracyjny
TZM – termostatyczny ogranicznik temperatury wody użytkowej ustawiony na max 55oC (nie więcej niż podgrzew wody użytkowej z kotłów grzewczych),
PWw – podgrzewacz c.w.u. (piko 1 stopień podgrzewu cwu (z GAT), podgrzew wody nawet do 60–70oC,
GE – grzałka elektryczna (zabezpieczenie dla dezynfekcji termicznej podgrzewacza),
Tcwu – czujnik temperatury wody w podgrzewaczu,
Tzbc – czujnik temperatury w zbiorniku buforowym chłodu,
Tzbg – czujnik temperatury w zbiorniku buforowym ciepła,
LC – licznik ciepła,
T LC – czujnik temperatury cieplomierza z trójnikiem instalacyjnym,
P – przetwornierz cieplomierza,
FS – filtr siatkowy gwintowany,
V – czujnik przepływu wody,
ZB – zawór bezpieczeństwa,
PNW – przeponowe naczynie wzbiorcze,
PO WP – pompa obiegowa wysokiego parametru (z zabezpieczeniem przed suchobiegiem),
PO NPc – pompa obiegowa niskiego parametru – chłodzenia (z zabezpieczeniem przed suchobiegiem),
PO NPg – pompa obiegowa niskiego parametru – grzania (z zabezpieczeniem przed suchobiegiem),
PO NW – pompa obiegowa obiegu grzewczego nagrzewnic wstępnych powietrza w centralach wentylacyjnych (z zabezpieczeniem przed suchobiegiem),
PC PCW – pompa cyrkulacyjna podgrzewu cieplej wody użytkowej w istniejących podgrzewaczach z GAT
PC K3 – pompa cyrkulacyjna obiegu nagrzewnicy wstępnej centrali went. K3
PC K6 – pompa cyrkulacyjna obiegu nagrzewnicy wstępnej centrali went. K6
O – odpowietrznik na instalacji,
Tg – czujnik temperatury wg pomiaru automatyki,
P – czujnik temperatury wg pomiaru automatyki,
Tp – czujnik temperatury powietrza za nagrzewnicą wstępną powietrza (w zakresie automatyki centrali)
trip – projektowana temperatura powietrza za nagrzewnicą wstępną,

ARMATURA

- Zawór kulowy gwintowany
- Zawór regulacyjny gwintowany
- Zawór zwrotny gwintowany
- Filtr siatkowy gwintowany
- Pompa
- Zawór dwudrogowy przełączający (siłownik/zamki)
- Regulator różnicy ciśnienia
- Zawór zwrotny kołnierzowy
- Zawór odcinający kołnierzowy
- Zawór kołnierzowy regulacyjny
- Filtr siatkowy kołnierzowy
- Przepustnica zaporowa kołnierzowa
- Wodomierz
- Regulator różnicy ciśnienia
- Przetwornierz cieplomierza
- Cieplomierz
- Czujnik temperatury cieplomierza z trójnikiem instalacyjnym
- Zawór bezpieczeństwa
- Zawór kulowy ze złączką do węża
- Odpowietrznik automatyczny z zaworem stopowym
- Zawór odcinający z podpięciem rurki impulsowej
- Manometr
- Termometr
- Termomanometr
- Szybkozłączka do naczyń wzbiorczych
- Zawór regulacyjny dwudrogowy z siłownikiem
- Zawór dwudrogowy z siłownikiem (siłownik/zamki)
- Termostatyczny zawór mieszający na cwu

ROZDZIELNICA ZASILAJĄCO STERUJĄCA

Klient: ---

Obiekt: **Gazowy Agregat Trójregeneracyjny**

Centrala wentylacyjna: ---

Nr fabryczny: ---

TYP KABLI MIĘDZY ROZDZIELNICĄ AUTOMATYKI A AGREGATEM DOBIERAĆ WZGLĘDEM LOKALNYCH WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH I ODLEGŁOSCI!

PARAMETRY ELEKTRYCZNE

Uz: 3x400VAC / 50Hz, TN-S

Maksymalne zabezpieczenie zasilania: Imax = 40A

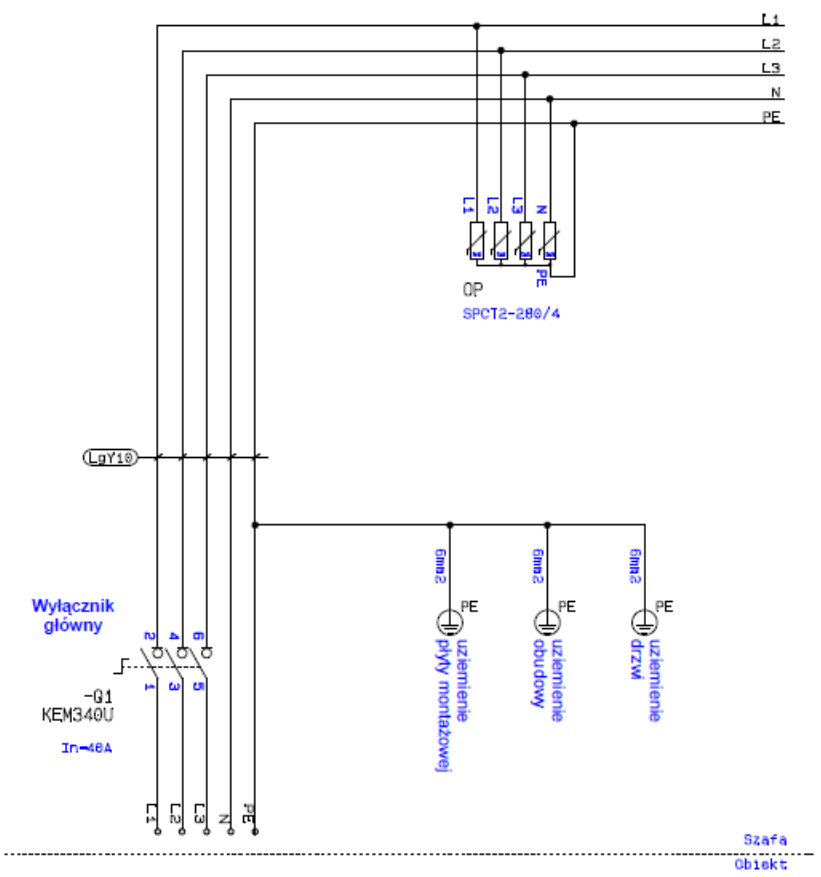
OZNACZENIE PRZEWODÓW

Jeżeli nie zaznaczono inaczej, to w szafie użyto następujących przewodów:

- obwody siłowe fazowe 230/400VAC	- LgY 1,5 czarny
- obwody siłowe neutralne	- LgY 1,5 niebieski
- obwody sterownicze fazowe 230VAC	- LgY 0,75 brązowy
- obwody sterownicze neutralne	- LgY 0,75 niebieski
- obwody ochrone PE	- LgY 1,5 żółto-zielony
- napięcie sterownicze 24VAC	- LgY 0,75 czerwony
- napięcie sterownicze 0VAC	- LgY 0,75 biały
- obwody sterownicze pozostałe	- LgY 0,75 zielony
- obwody o potencjałach zewnętrznych	- LgY 0,75 pomarańczowy

Kolory żył przewodów do urządzeń obiektowych:

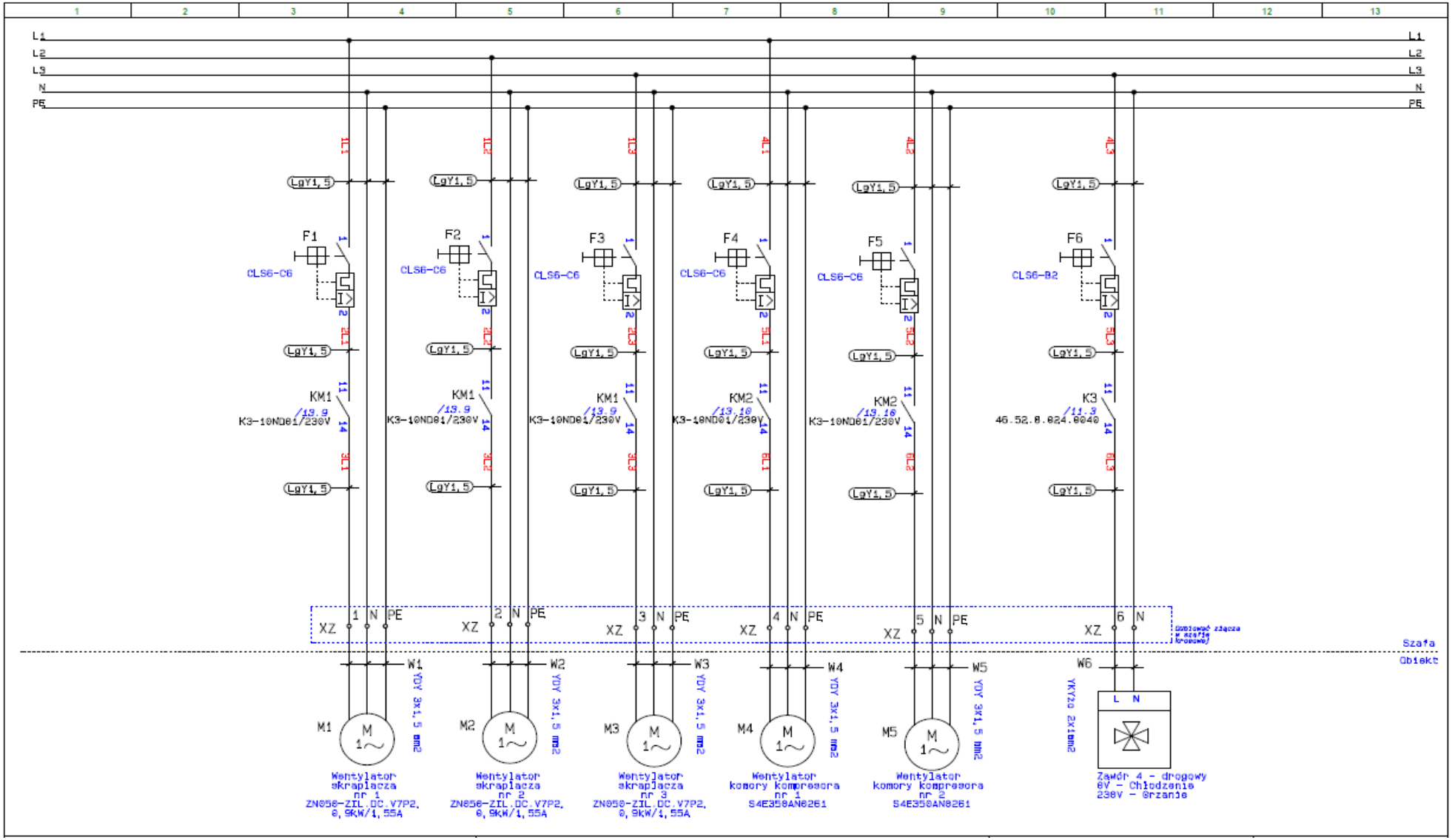
WH - biały
BN - brązowy
GN - zielony
YE - żółty
GY - szary
PK - różowy
BU - niebieski
RD - czerwony

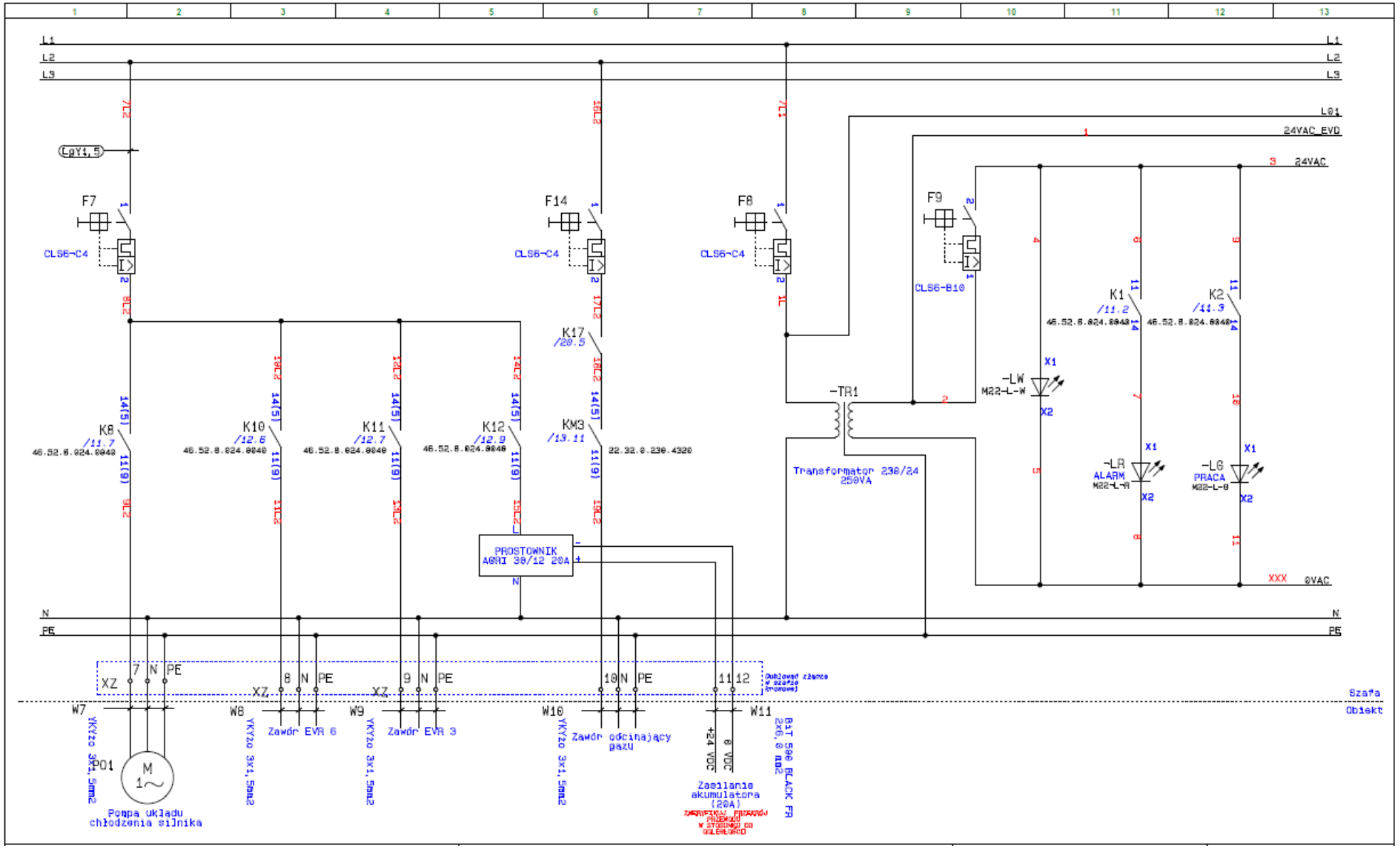


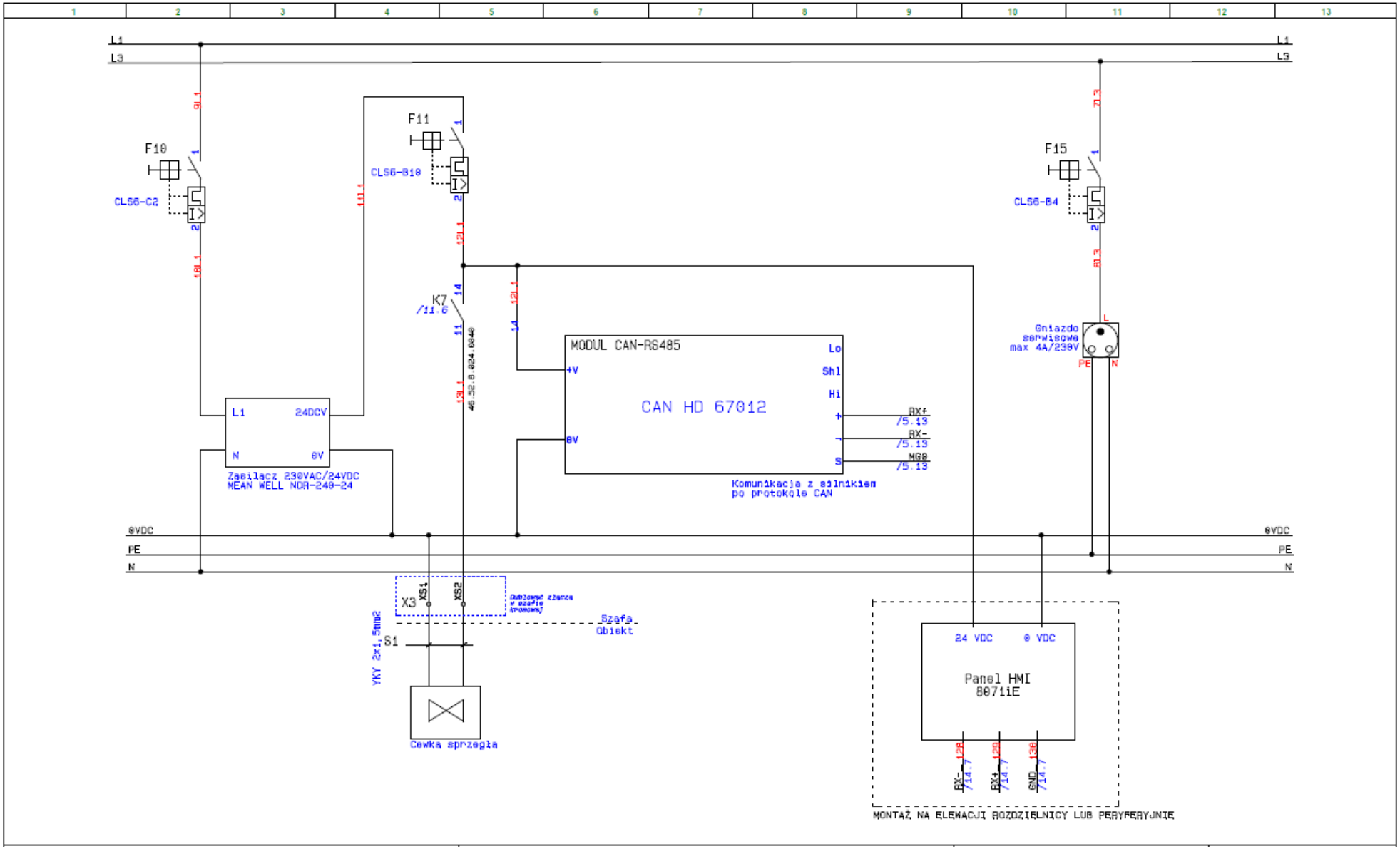
Zasilanie główne

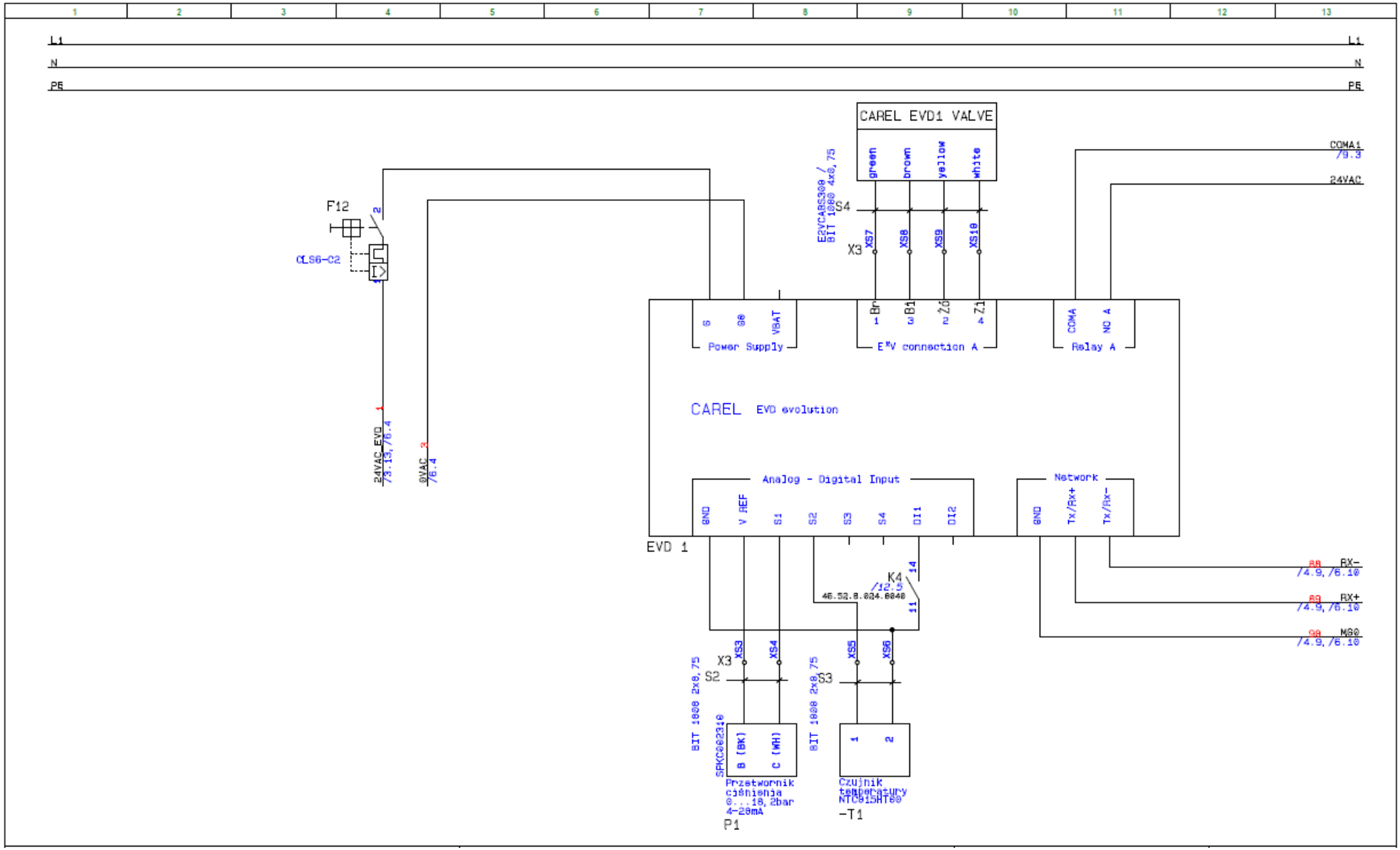
3x400VAC / 50Hz, TN-S

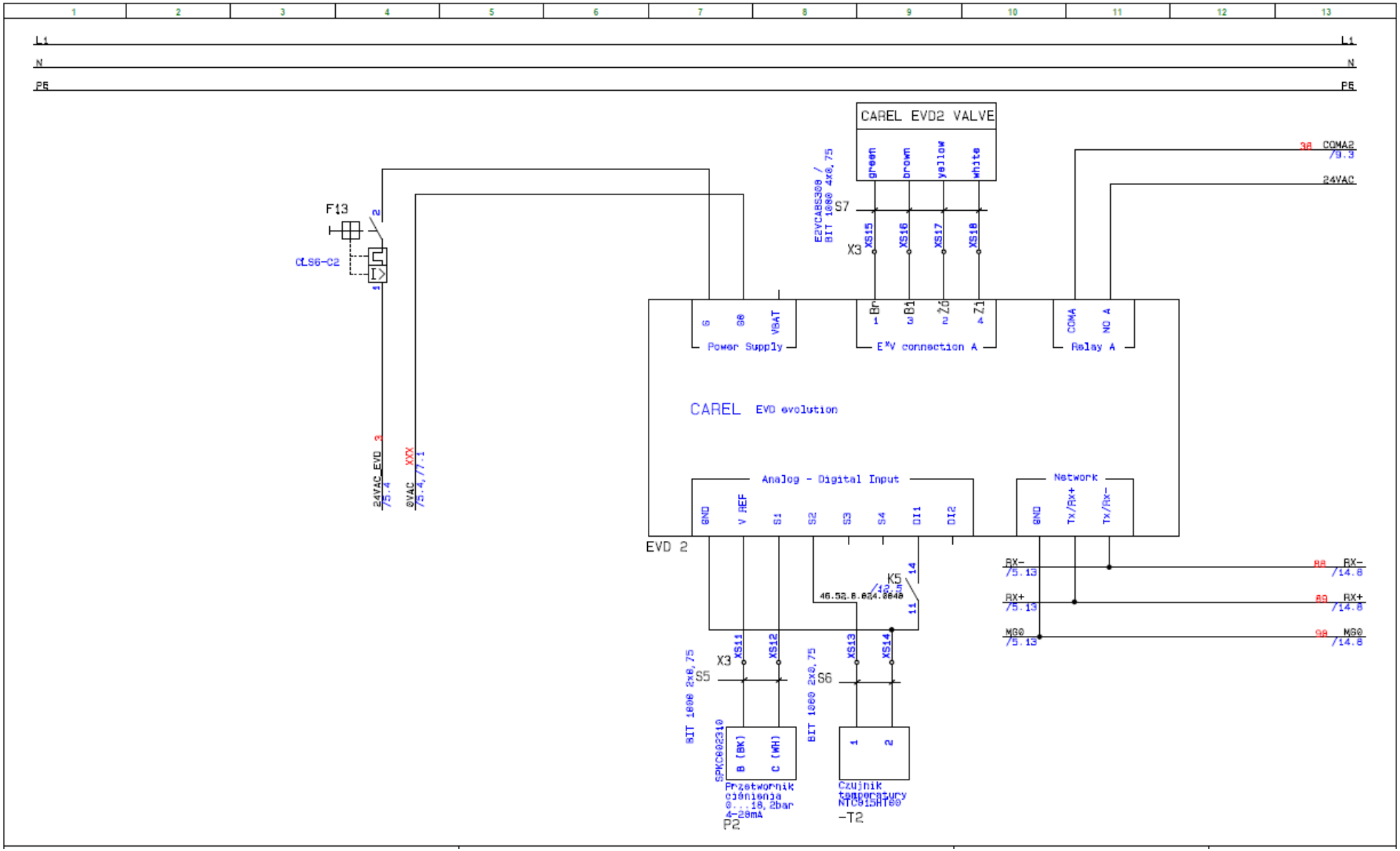
wg branży elektrycznej

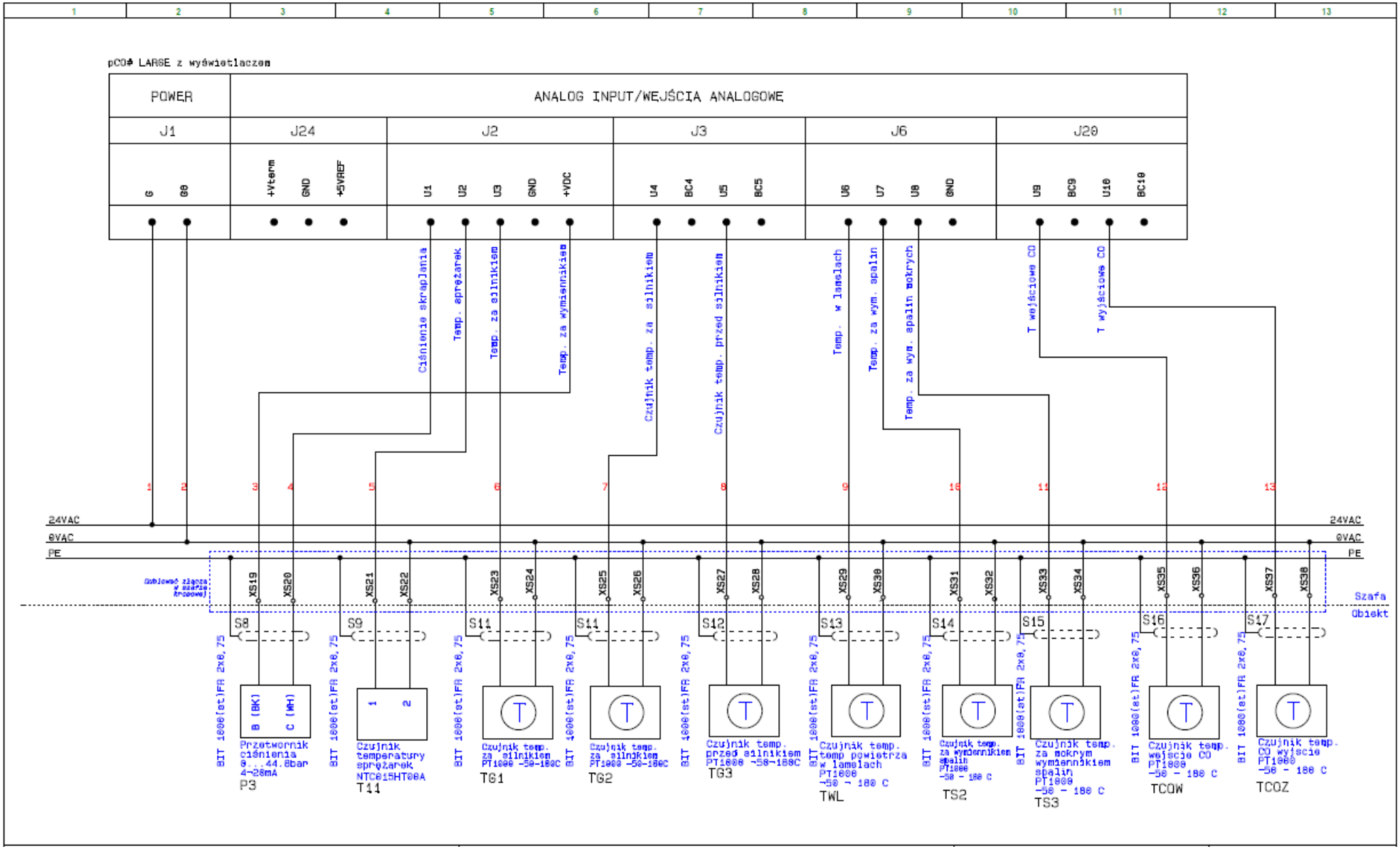

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
L1
L2
L3
N
PE
1L1
1L2
1L3
4L1
4L2
4L3
LgY1,5
F1
F2
F3
F4
F5
F6
CLS6-C6
CLS6-B2
2L1
2L2
2L3
3L1
3L2
3L3
KM1
KM2
K3
/13.9
/13.16
/11.3
K3-10ND01/230V
46.52.8.024.0040
XZ
1 N PE
2 N PE
3 N PE
4 N PE
5 N PE
6 N
Szafa
Obiekt
W1
W2
W3
W4
W5
W6
YDY 3x1,5 mm2
YKYżo 2x1mm2
M1
M2
M3
M4
M5
Wentylator skraplacza nr 1
ZN056-ZIL.DC.V7P2, 0,9kW/1,55A
Wentylator skraplacza nr 2
ZN056-ZIL.DC.V7P2, 0,9kW/1,55A
Wentylator skraplacza nr 3
ZN056-ZIL.DC.V7P2, 0,9kW/1,55A
Wentylator komory kompresora nr 1
S4E350AN8261
Wentylator komory kompresora nr 2
S4E350AN8261
L N
Zawór 4 - drogowy
0V - Chłodzenie
230V - Grzanie

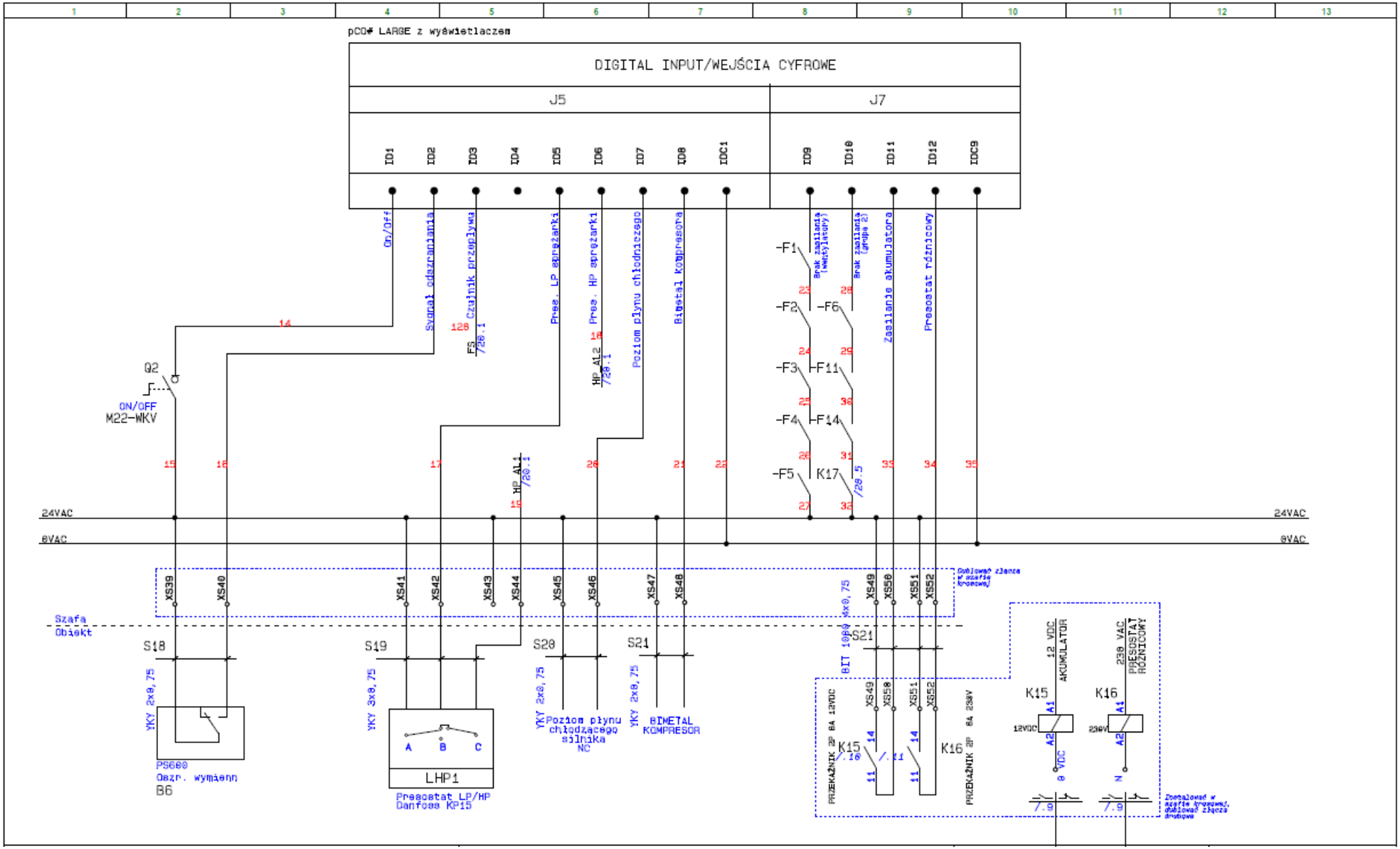

L1
L2
L3
L01
24VAC_EVD
24VAC
0VAC
XXX
N
PE
LgY1,5
F7
F14
F8
F9
CLS6-C4
CLS6-B10
K17
/20.5
K8
/11.7
46.52.8.024.8040
K10
/12.6
K11
/12.7
K12
/12.9
KM3
/13.11
22.32.0.230.4320
K1
/11.2
K2
/11.3
-TR1
Transformator 230/24
250VA
-LW
M22-L-W
-LR
ALARM
M22-L-R
-LG
PRACA
M22-L-G
X1
X2
PROSTOWNIK
AGRI 30/12 20A
XZ
W7
W8
W9
W10
W11
YKY2o 3x1,5mm2
BiT 500 BLACK FR
2x0,8 mm2
PO1
M
1~
Pompa układu
chłodzenia silnika
Zawór EVR 6
Zawór EVR 3
Zawór odcinający
gazu
Zasilanie
akumulatora
(20A)
+24 VDC
0 VDC
Szafa
Obiekt

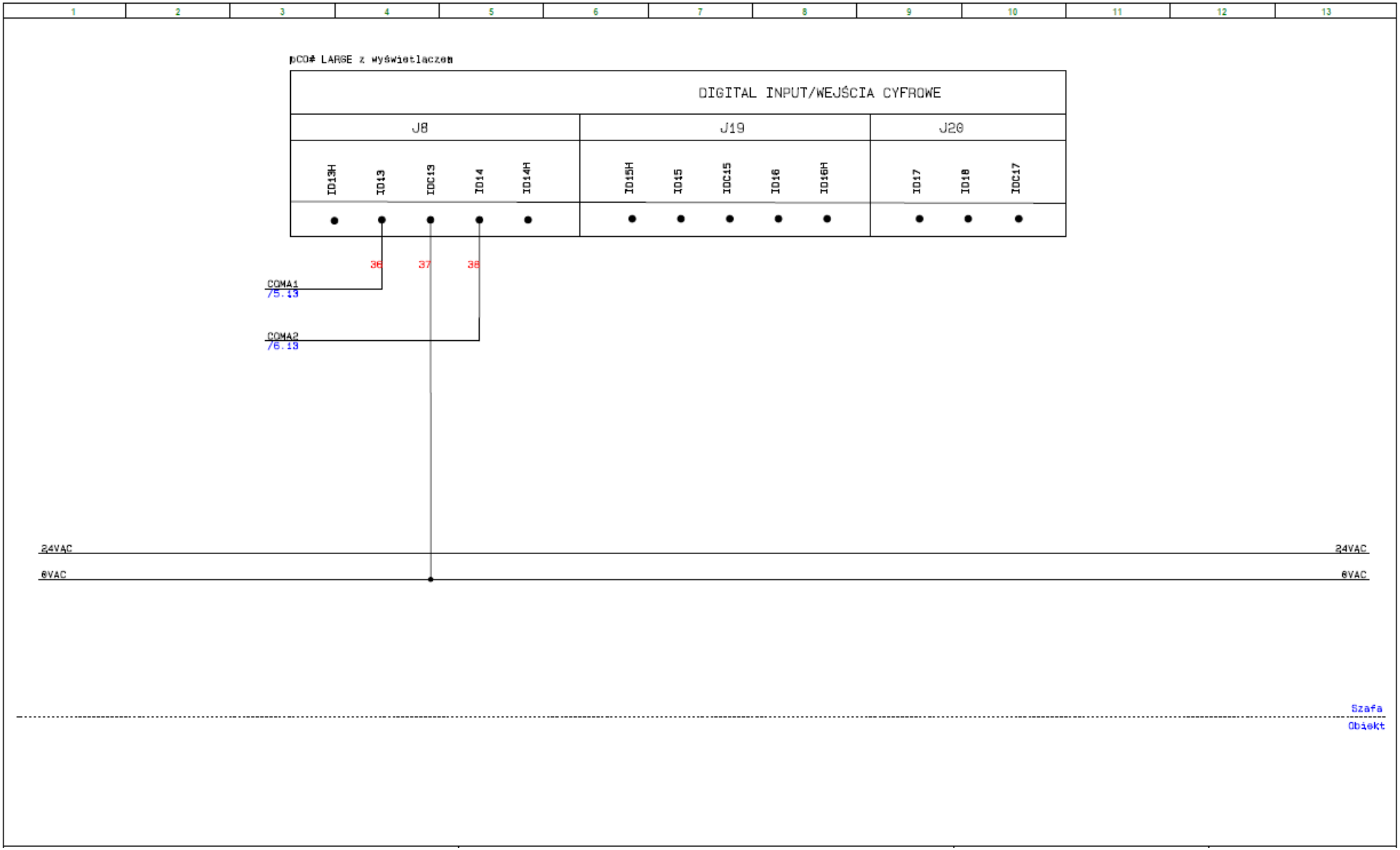

L1
L3
F10
CLS6-C2
F11
CLS6-B18
K7
/11.6
F15
CLS6-B4
MODUL CAN-RS485
CAN HD 67012
+V
0V
Lo
Shl
Hi
+
-
S
RX+
/5.13
RX-
/5.13
MG8
/5.13
L1
24DCV
N
0V
Zasilacz 230VAC/24VDC
MEAN WELL NDR-240-24
Komunikacja z silnikiem
po protokole CAN
Gniazdo
serwisowe
max 4A/230V
PE
N
8VDC
PE
N
X3
XS1
XS2
Szafa
Obiekt
S1
YKY 2x1,5mm2
Cewka sprzegła
24 VDC
0 VDC
Panel HMI
8071iE
RX-
/14.7
RX+
/14.7
GND
/14.7
MONTAŻ NA ELEWACJI ROZDZIELNICY LUB PERYFERYJNIE

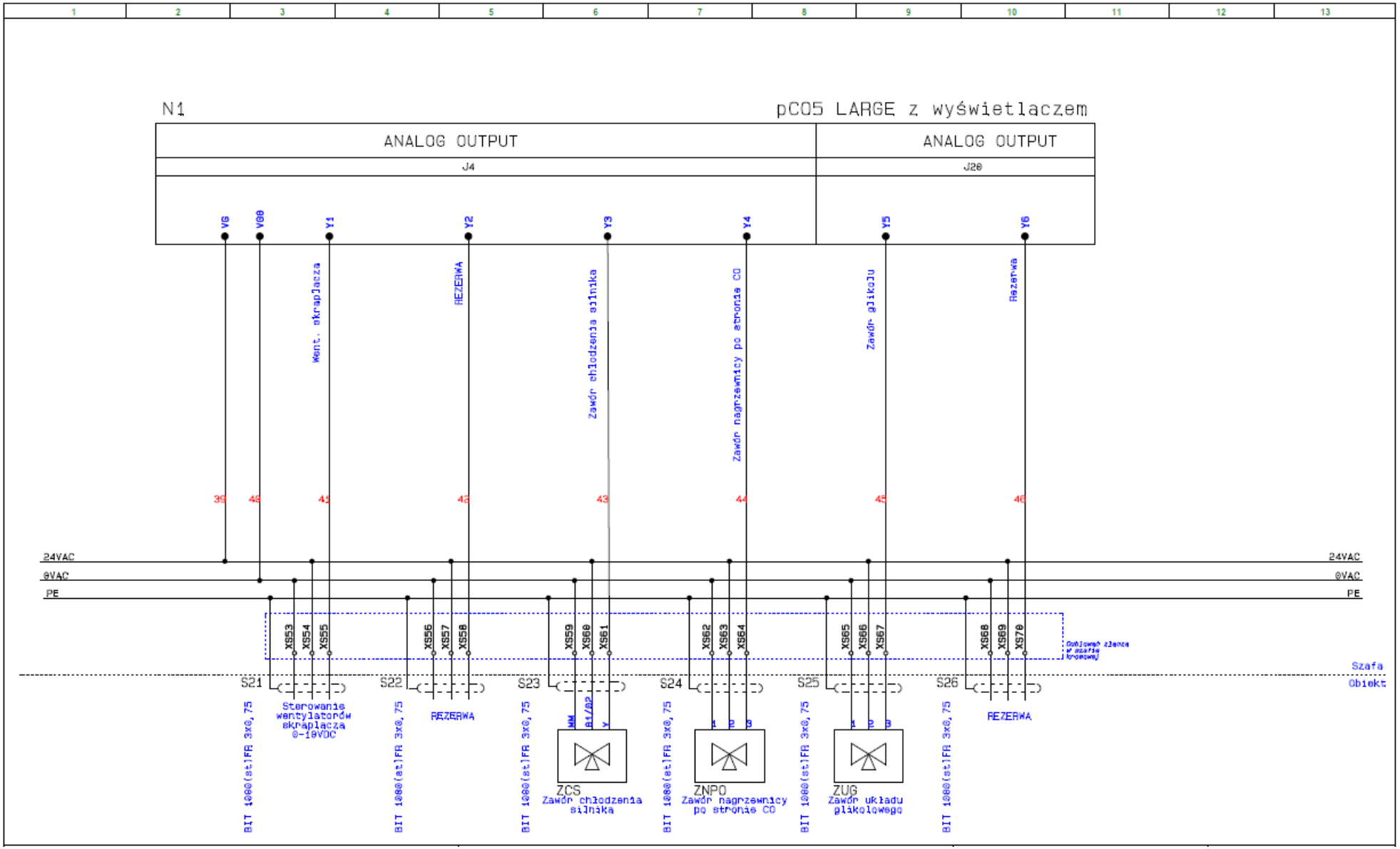

L1
N
PE
CAREL EVD1 VALVE
green
brown
yellow
white
E2VCABS300 / BIT 1000 4x0,75
X3
XS7
XS8
XS9
XS10
S4
F12
CLS6-C2
24VAC_EVD /3.13,/6.4
0VAC /6.4
COMA1 /9.3
24VAC
Power Supply
GND
VBAT
E²V connection A
Br
B1
Z0
Z1
Relay A
COMA
NO A
CAREL EVD evolution
EVD 1
Analog - Digital Input
GND
V REF
S1
S2
S3
S4
DI1
DI2
Network
GND
Tx/Rx+
Tx/Rx-
K4
/12.5
46.52.8.024.0040
14
11
RX-
/4.9, /6.10
RX+
/4.9, /6.10
M80
/4.9, /6.10
X3
XS3
XS4
S2
BIT 1000 2x0,75
SPKC002310
B (BK)
C (WH)
Przetwornik ciśnienia
0....18,2bar
4-20mA
P1
XS5
XS6
S3
BIT 1000 2x0,75
1
2
Czujnik temperatury
NTC015HT00
-T1

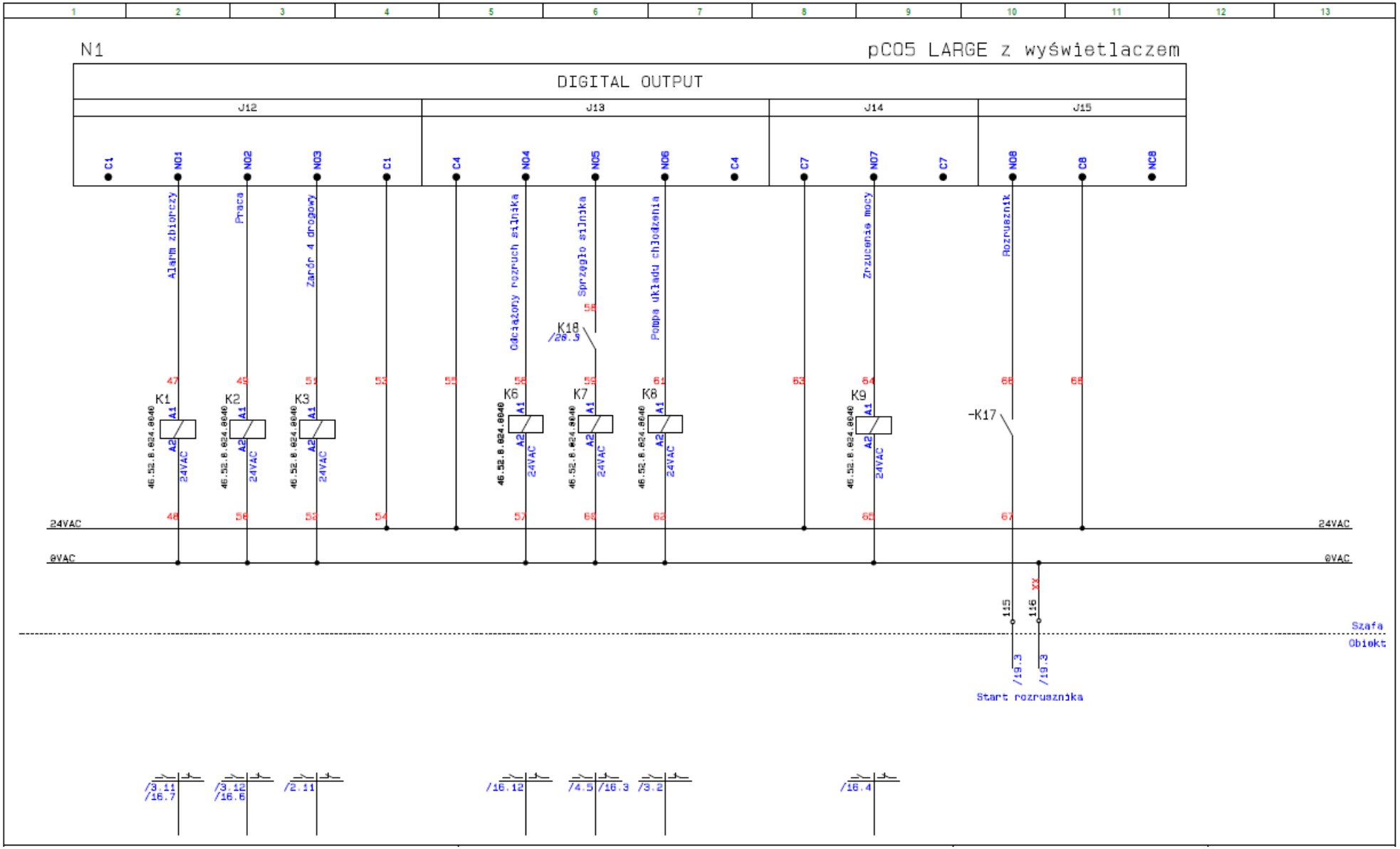

L1
N
PE
CAREL EVD2 VALVE
green
brown
yellow
white
E2VCABS300 / BIT 1000 4x0,75
S7
X3
XS15
XS16
XS17
XS18
F13
CLS6-C2
24VAC_EVD /5.4
0VAC XXX /5.4,/7.1
3A COMA2 /9.3
24VAC
GND
0V
VBAT
Power Supply
Br
B1
Z0
Z1
E²V connection A
COMA
NO A
Relay A
CAREL EVD evolution
EVD 2
Analog - Digital Input
GND
V REF
S1
S2
S3
S4
DI1
DI2
Network
GND
Tx/Rx+
Tx/Rx-
K5
46.52.8.024.0040
RX- /5.13
RX+ /5.13
MG0 /5.13
8A RX- /14.8
8A RX+ /14.8
9A MG0 /14.8
X3
XS11
XS12
XS13
XS14
S5
S6
BIT 1000 2x0,75
SPKC002310
B (BK)
C (WH)
Przetwornik ciśnienia 0-...18,2bar 4-20mA
BIT 1000 2x0,75
1
2
Czujnik temperatury NTC015HT00
-T2

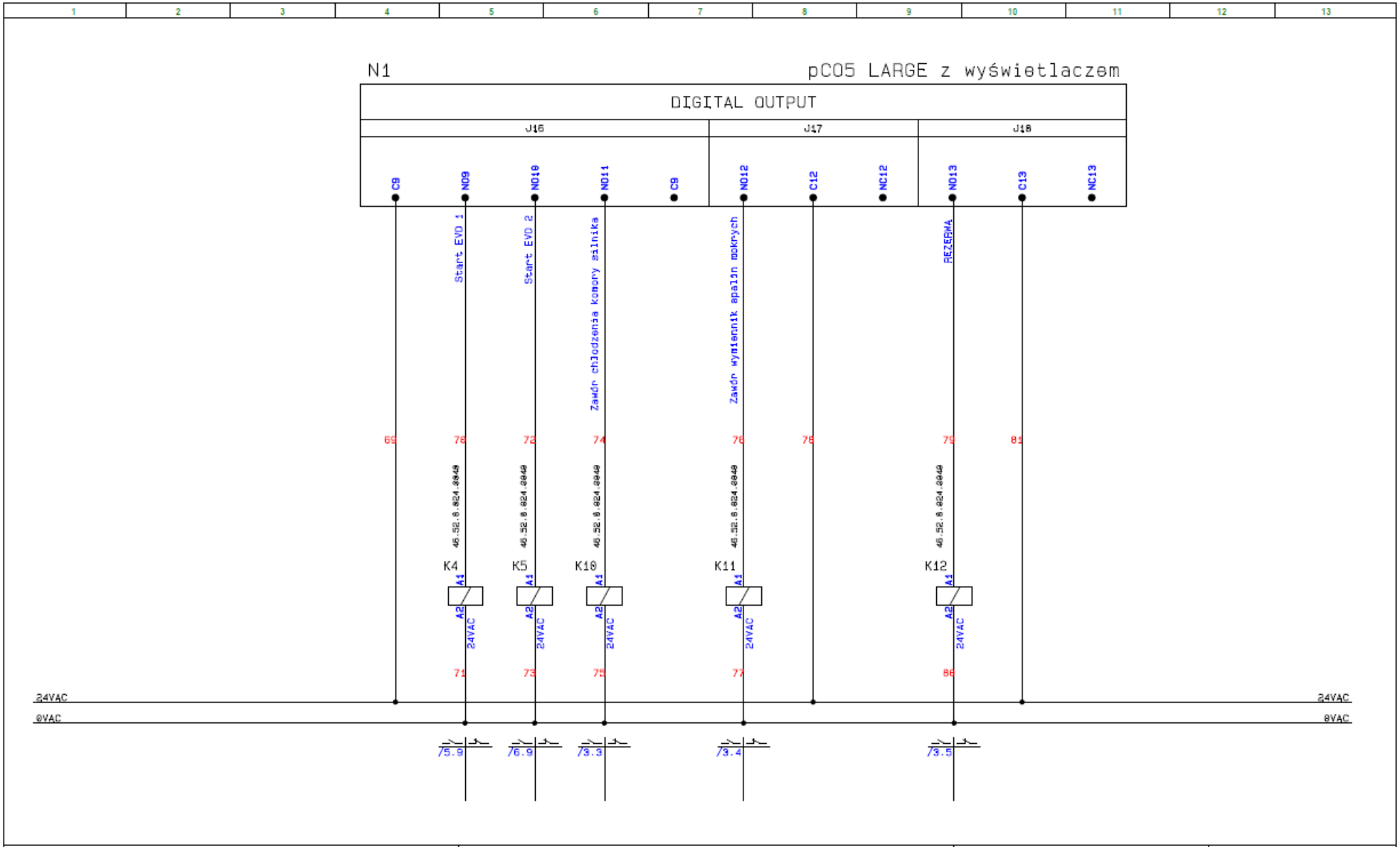

pCO# LARGE z wyświetlaczem
POWER
ANALOG INPUT/WEJŚCIA ANALOGOWE
J1
J24
J2
J3
J6
J20
G
G0
+Vterm
GND
+5VREF
U1
U2
U3
GND
+VDC
U4
BC4
U5
BC5
U6
U7
U8
GND
U9
BC9
U10
BC10
Ciśnienie skraplania
Temp. sprężarek
Temp. za silnikiem
Temp. za wymiennikiem
Czujnik temp. za silnikiem
Czujnik temp. przed silnikiem
Temp. w lamelach
Temp. za wym. spalin
Temp. za wym. spalin mokrych
T wejściowa CO
T wyjściowa CO
24VAC
0VAC
PE
Szafa
Obiekt
S8
S9
S11
S11
S12
S13
S14
S15
S16
S17
Przetwornik ciśnienia 0...44.8bar 4-20mA
P3
Czujnik temperatury sprężarek NTC015HT00A
T11
Czujnik temp. za silnikiem PT1000 -50-180C
TG1
Czujnik temp. za silnikiem PT1000 -50-180C
TG2
Czujnik temp. przed silnikiem PT1000 -50-180C
TG3
Czujnik temp. temp powietrza w lamelach PT1000 -50 - 180 C
TWL
Czujnik temp. za wymiennikiem spalin PT1000 -50 - 180 C
TS2
Czujnik temp. za mokrym wymiennikiem spalin PT1000 -50 - 180 C
TS3
Czujnik temp. wejscie CO PT1000 -50 - 180 C
TCOW
Czujnik temp. CO wyjscie PT1000 -50 - 180 C
TCOZ

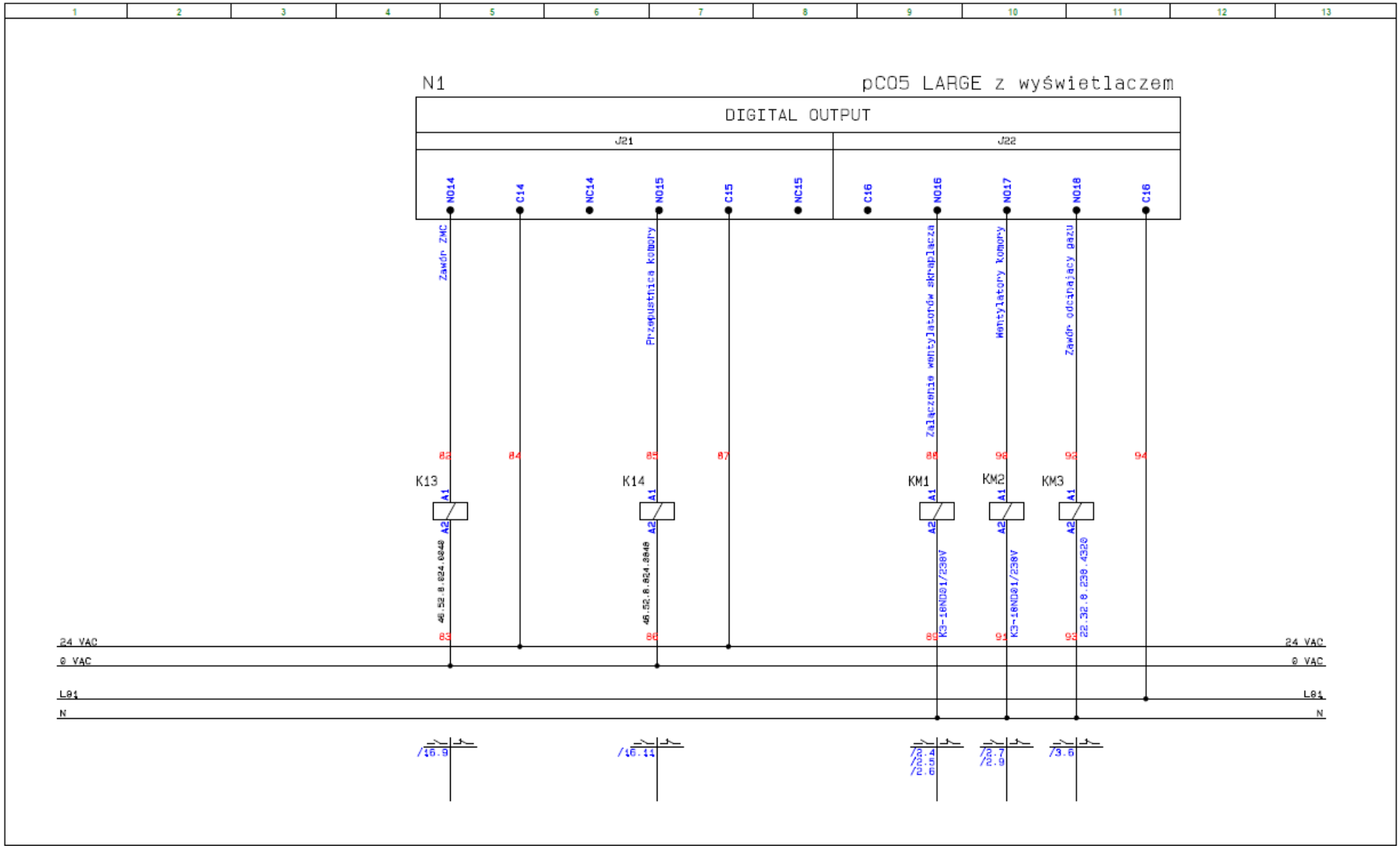

pCO# LARGE z wyświetlaczem
DIGITAL INPUT/WEJŚCIA CYFROWE
J5
J7
ID1
ID2
ID3
ID4
ID5
ID6
ID7
ID8
IDC1
ID9
ID10
ID11
ID12
IDC9
On/Off
Sygnał odszraniania
Czujnik przepływu
Pres. LP sprężarki
Pres. HP sprężarki
Poziom płynu chłodniczego
Bimetal kompresora
Brak zasilania (wentylatory)
Brak zasilania (grupa 2)
Zasilanie akumulatora
Presostat różnicowy
Q2
ON/OFF
M22-WKV
-F1
-F2
-F3
-F4
-F5
-F6
-F11
-F14
K17
24VAC
0VAC
Szafa
Obiekt
S18
S19
S20
S21
PS600
Obszr. wymienn
B6
LHP1
Presostat LP/HP
Danfoss KP15
Poziom płynu chłodzącego silnika NC
BIMETAL KOMPRESOR
PRZEKAŹNIK 2P 8A 12VDC
PRZEKAŹNIK 2P 8A 230V
K15
K16
12 VDC
AKUMULATOR
230 VAC
PRESOSTAT RÓŻNICOWY
12VDC
230V
0 VDC
N

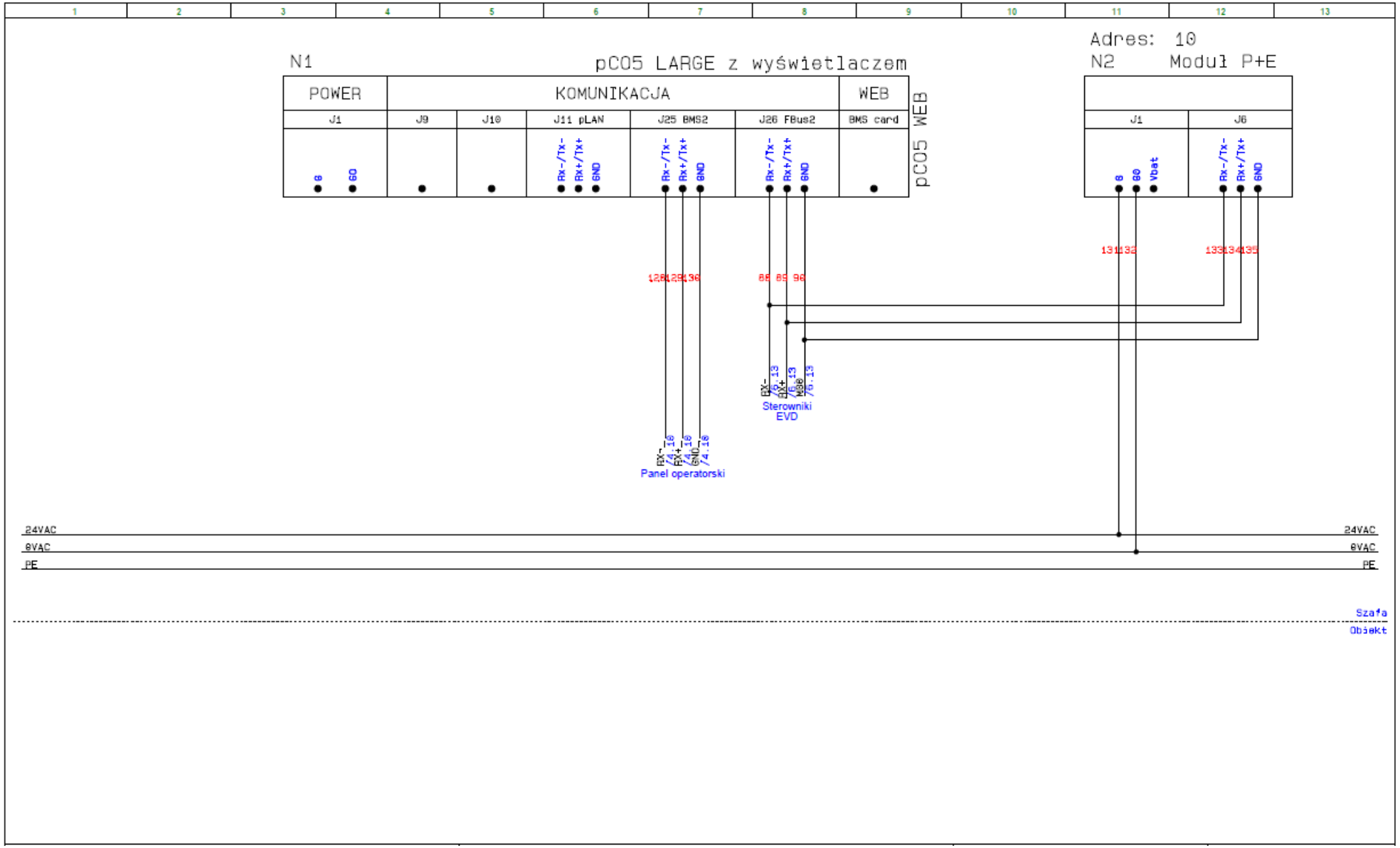

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
pCO# LARGE z wyświetlaczem
DIGITAL INPUT/WEJŚCIA CYFROWE
J8
J19
J20
ID13H
ID13
IDC13
ID14
ID14H
ID15H
ID15
IDC15
ID16
ID16H
ID17
ID18
IDC17
36
37
38
COMA1
/5.13
COMA2
/6.13
24VAC
6VAC
24VAC
6VAC
Szafa
Obiekt

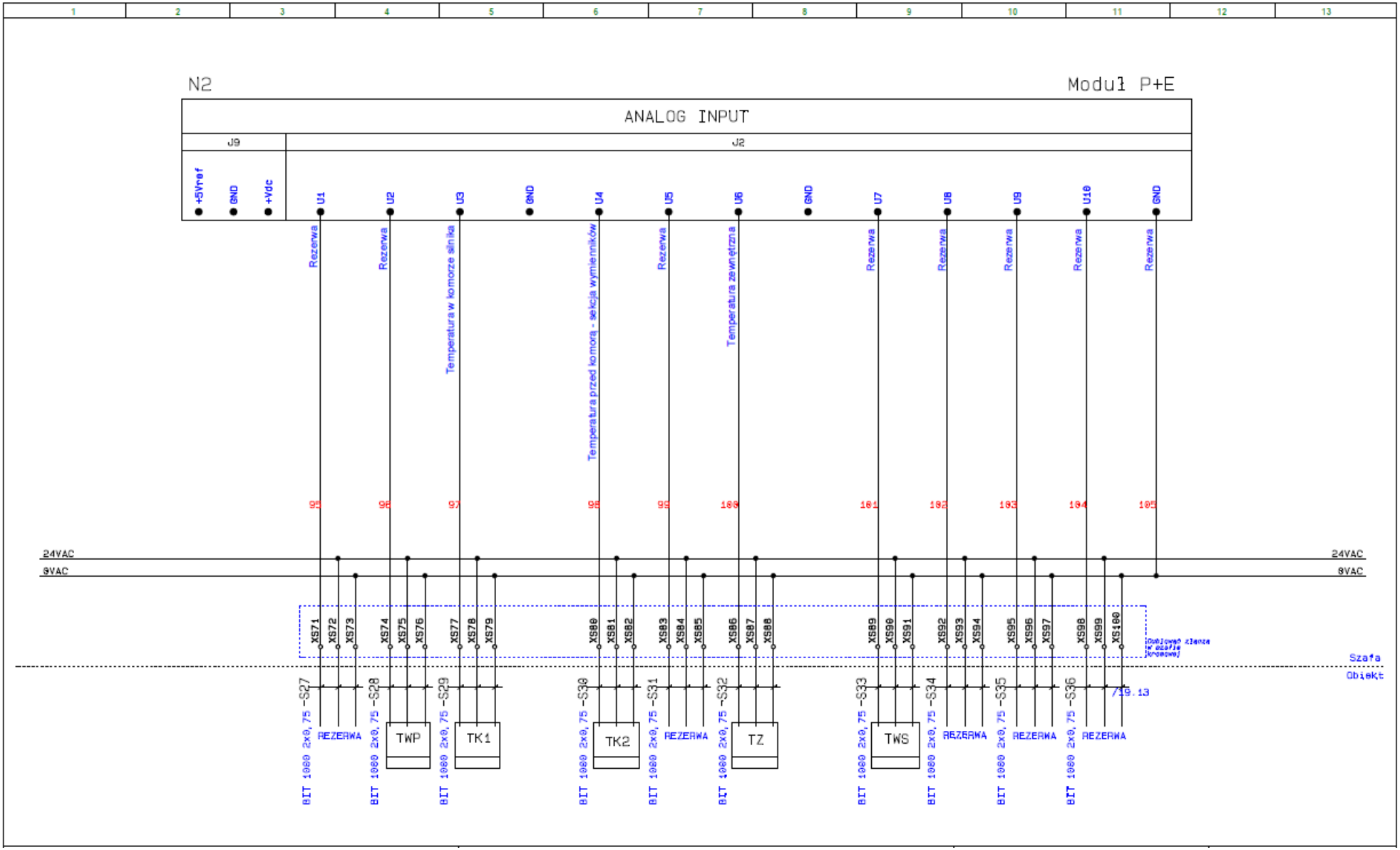

N1
pCO5 LARGE z wyświetlaczem
ANALOG OUTPUT
J4
ANALOG OUTPUT
J20
V6
V00
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y6
Went., skraplacza
REZERWA
Zawór chłodzenia silnika
Zawór nagrzewnicy po stronie CO
Zawór glikolu
Rezerwa
39
40
41
42
43
44
45
46
24VAC
0VAC
PE
X53
X54
X55
X56
X57
X58
X59
X60
X61
X62
X63
X64
X65
X66
X67
X68
X69
X70
Szafa
Obiekt
S21
S22
S23
S24
S25
S26
Sterowanie wentylatorów skraplacza 0-10VDC
REZERWA
REZERWA
BIT 1000(st)FR 3x0,75
ZCS
Zawór chłodzenia silnika
ZNPO
Zawór nagrzewnicy po stronie CO
ZUG
Zawór układu glikolowego

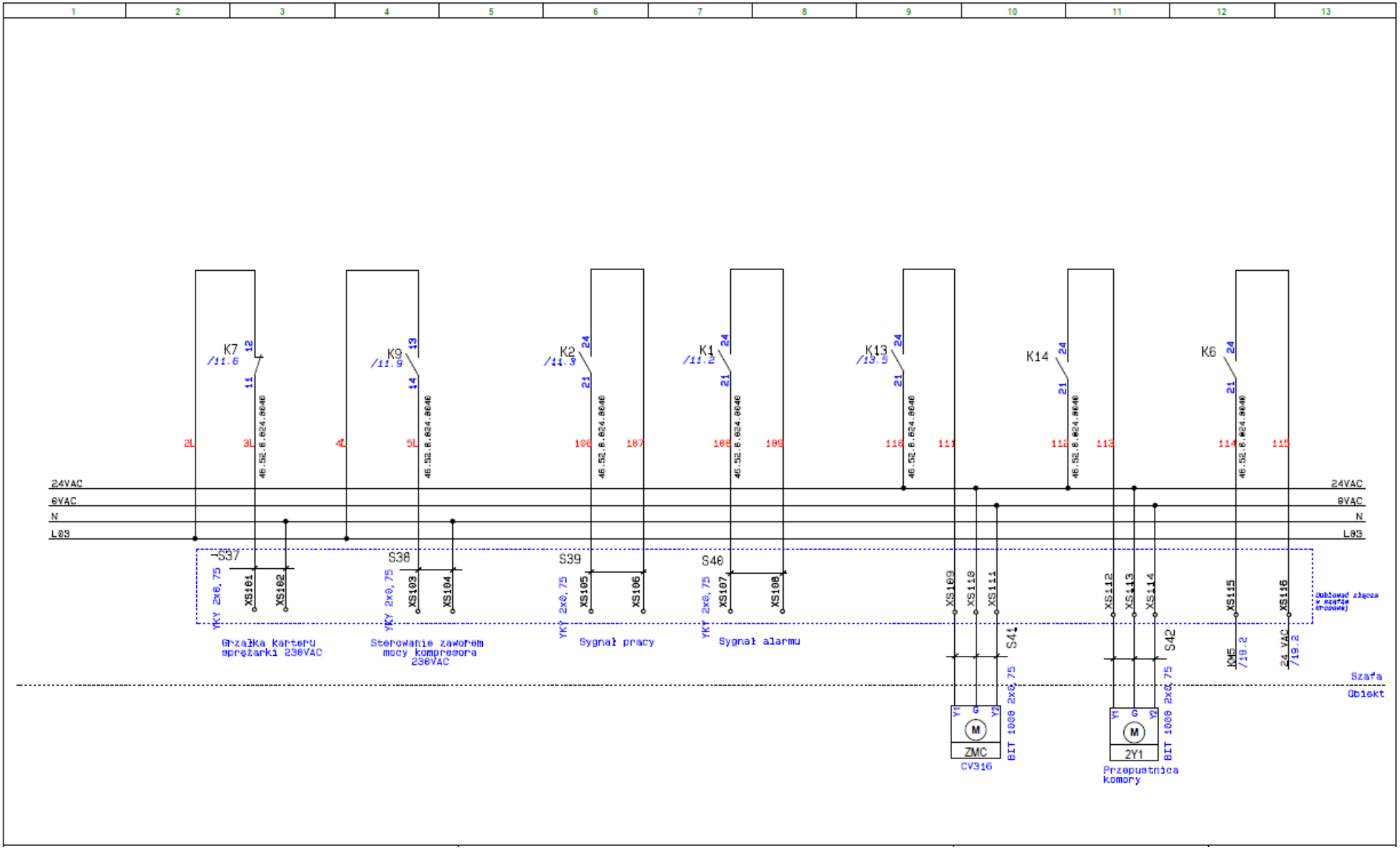

N1
pCO5 LARGE z wyświetlaczem
DIGITAL OUTPUT
J12
J13
J14
J15
C1
NO1
NO2
NO3
C1
C4
NO4
NO5
NO6
C4
C7
NO7
C7
NO8
C8
NC8
Alarm zbiorczy
Praca
Zarór 4 drogowy
Załączony rozruch silnika
Sprzęgło silnika
Pompa układu chłodzenia
Zrzucanie mocy
Rozruszník
K18
/28.3
K1
K2
K3
K6
K7
K8
K9
-K17
46.52.8.024.8040
A1
A2
24VAC
24VAC
0VAC
115
116
XX
Szafa
Obiekt
/19.3
/19.3
Start rozruszníka
/3.11
/16.7
/3.12
/16.6
/2.11
/16.12
/4.5
/16.3
/3.2
/16.4

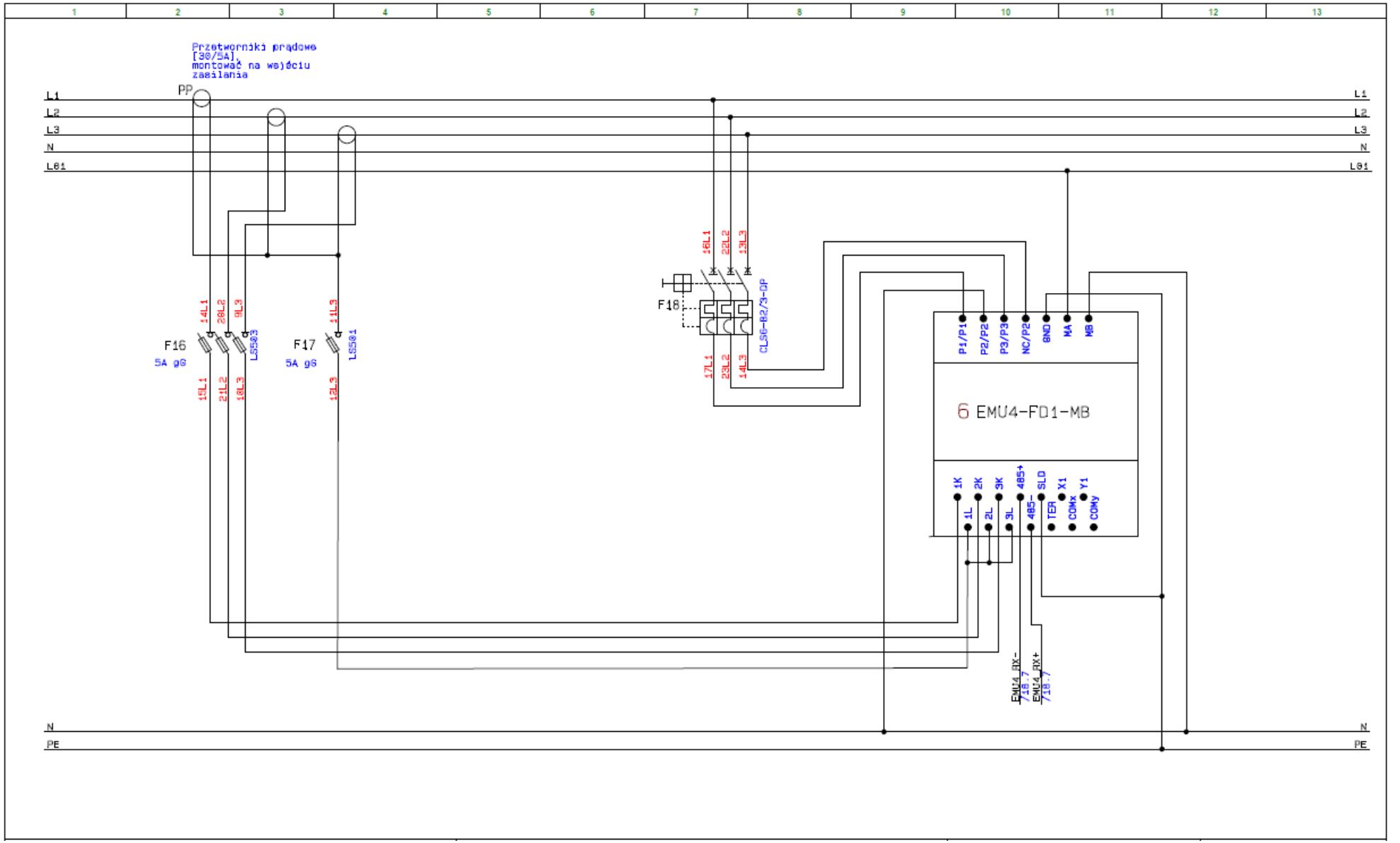

N1
pCO5 LARGE z wyświetlaczem
DIGITAL OUTPUT
J16
J17
J18
C9
ND9
ND10
ND11
C9
ND12
C12
NC12
ND13
C13
NC13
Start EVD 1
Start EVD 2
Zawór chłodzenia komory silnika
Zawór wymiennik spalin mokrych
REZERWA
69
70
72
74
76
78
79
81
46.52.8.024.0040
K4
K5
K10
K11
K12
A1
A2
24VAC
71
73
75
77
80
24VAC
0VAC
/5.0
/6.0
/3.3
/3.4
/3.5

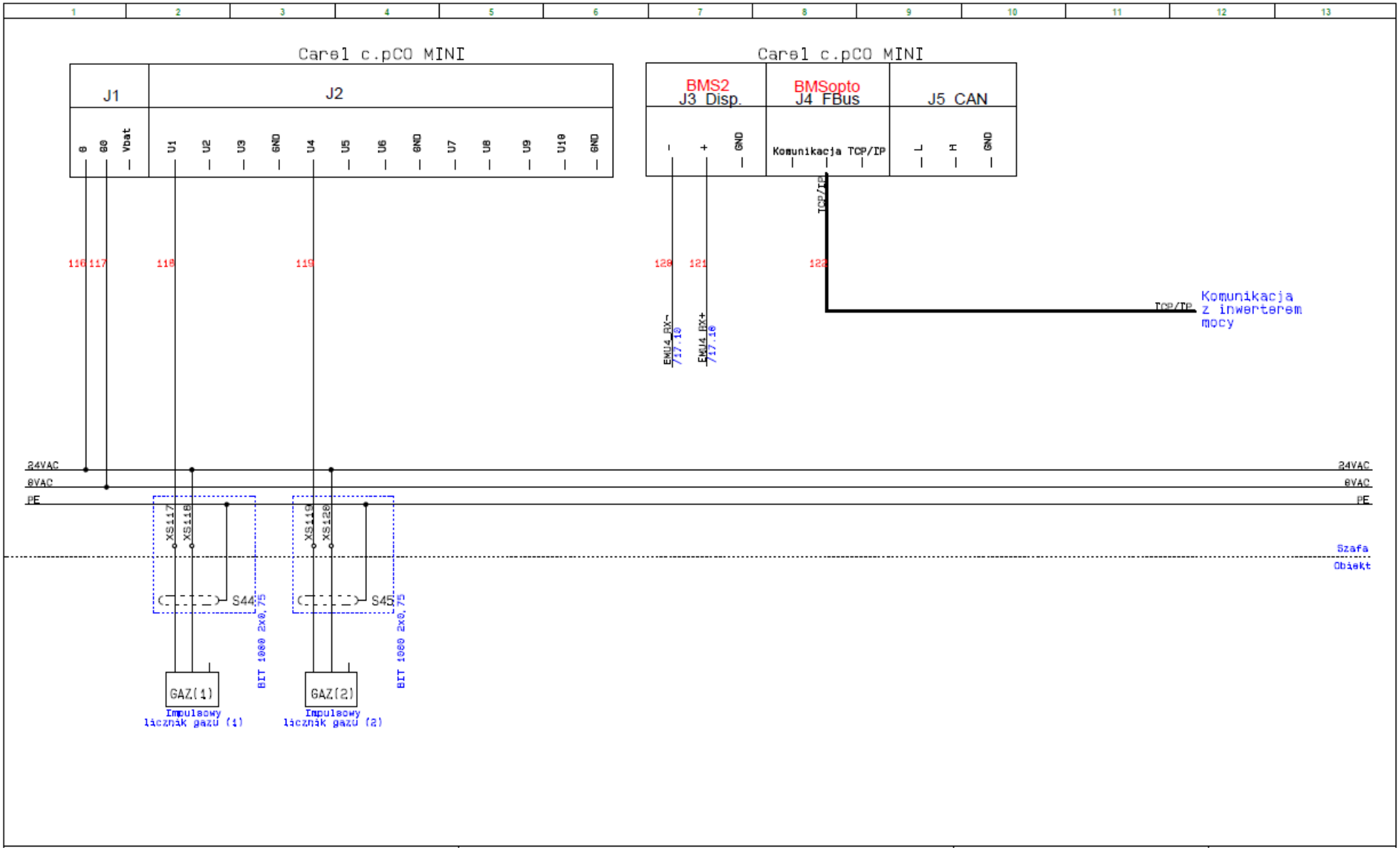

N1
pCO5 LARGE z wyświetlaczem
DIGITAL OUTPUT
J21
J22
NO14
C14
NC14
NO15
C15
NC15
C16
NO16
NO17
NO18
C16
Zawór ZWC
Przepustnica komory
Załączenie wentylatorów okapu
Wentylatory komory
Zawór odcinający gazu
K13
K14
KM1
KM2
KM3
A1
A2
82
84
85
87
95
96
98
94
46.52.8.024.6848
46.52.8.024.3848
K3-16ND01/230V
K3-16ND01/230V
22.32.8.230.4320
83
86
97
24 VAC
0 VAC
L01
N
/16.9
/16.11
/2.4
/2.5
/2.6
/2.7
/2.9
/3.6

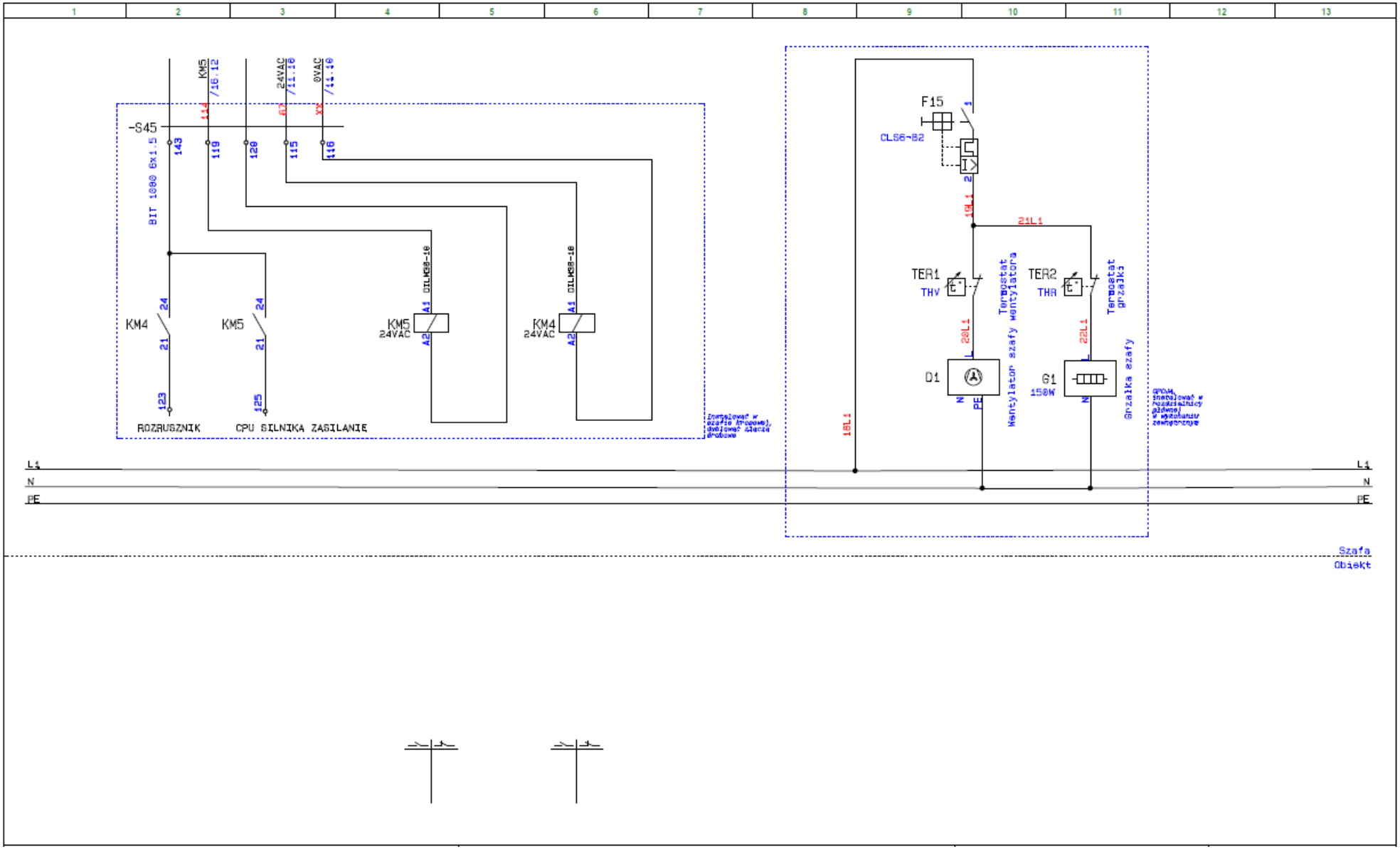

N1
pCO5 LARGE z wyświetlaczem
POWER
KOMUNIKACJA
WEB
J1
J9
J10
J11 pLAN
J25 BMS2
J26 FBus2
BMS card
G
G0
Rx-/Tx-
Rx+/Tx+
GND
pCO5 WEB
Adres: 10
N2 Moduł P+E
J1
J6
G
G0
Vbat
128 129 130
88 89 90
131 132
133 134 135
Sterowniki EVD
Panel operatorski
24VAC
0VAC
PE
Szafa
Obiekt

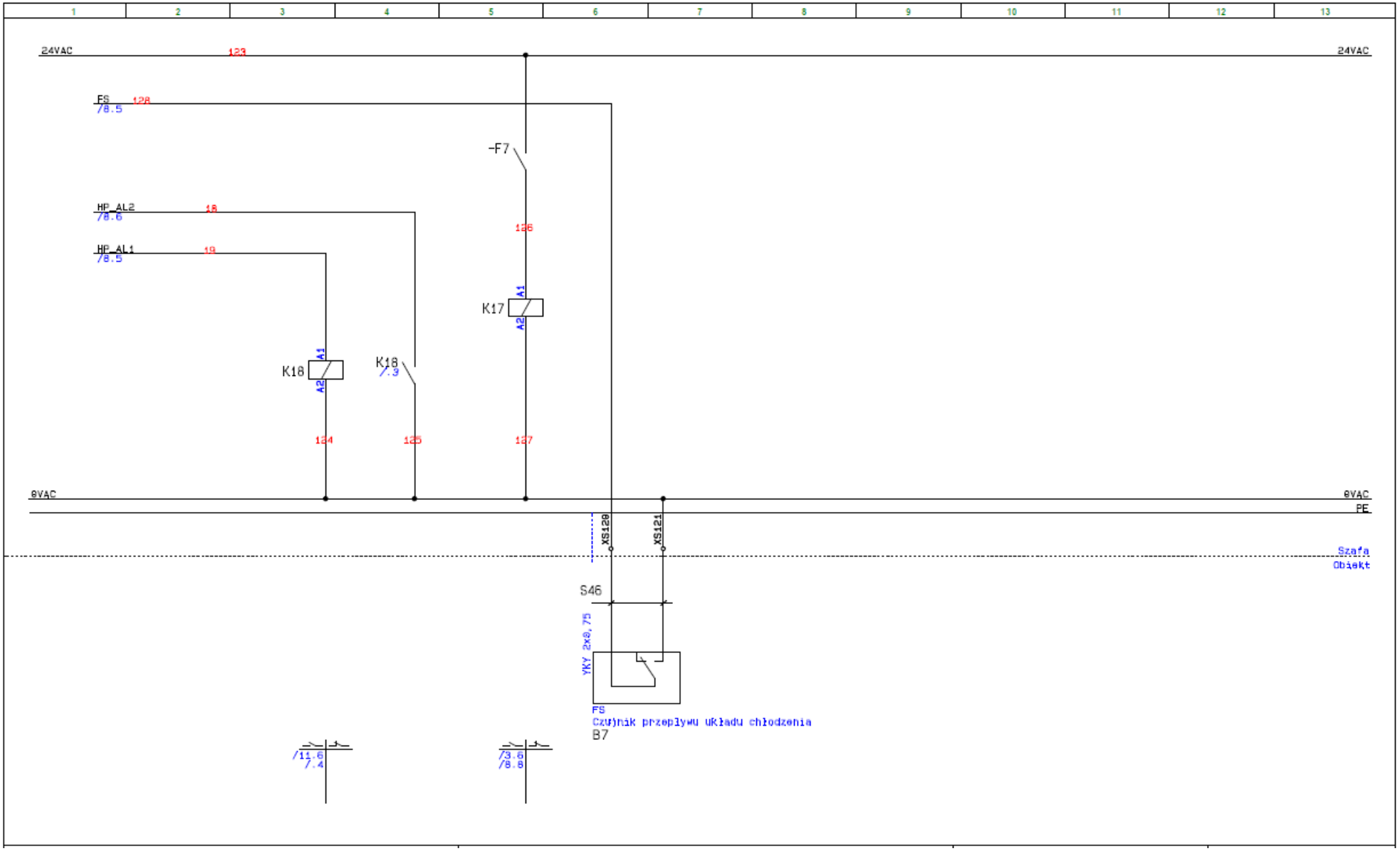

N2
Moduł P+E
ANALOG INPUT
J9
J2
+5Vref
GND
+Vdc
U1
U2
U3
GND
U4
U5
U6
GND
U7
U8
U9
U10
GND
Rezerwa
Rezerwa
Temperatura w komorze silnika
Temperatura przed komorą - sekcja wymienników
Rezerwa
Temperatura zewnętrzna
Rezerwa
Rezerwa
Rezerwa
Rezerwa
Rezerwa
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
24VAC
0VAC
24VAC
0VAC
XS71
XS72
XS73
XS74
XS75
XS76
XS77
XS78
XS79
XS80
XS81
XS82
XS83
XS84
XS85
XS86
XS87
XS88
XS89
XS90
XS91
XS92
XS93
XS94
XS95
XS96
XS97
XS98
XS99
XS100
Dodatkowe zlacza w szafie krosowej
Szafa
Obiekt
-S27
-S28
-S29
-S30
-S31
-S32
-S33
-S34
-S35
-S36
719.13
BIT 1000 2x0,75
REZERWA
TWP
TK1
TK2
REZERWA
TZ
TWS
REZERWA
REZERWA
REZERWA

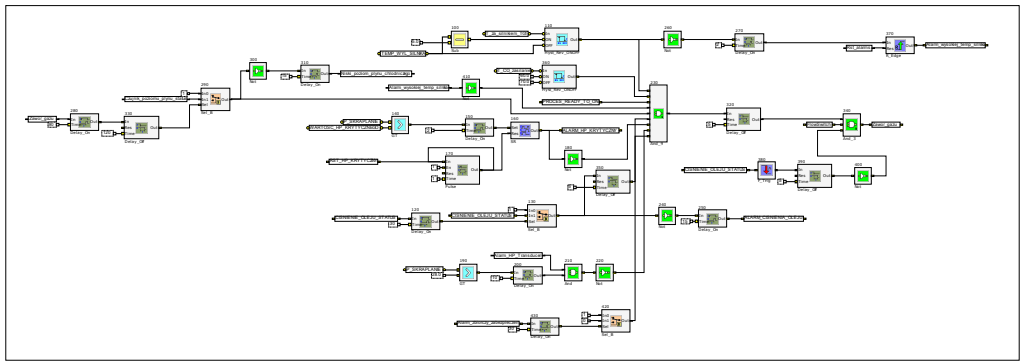

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
K7
/11.6
K9
/11.9
K2
/14.3
K1
/11.2
K13
/13.5
K14
K6
46.52.8.024.8040
24VAC
0VAC
N
L03
-S37
S38
S39
S40
XS101
XS102
XS103
XS104
XS105
XS106
XS107
XS108
XS109
XS110
XS111
XS112
XS113
XS114
XS115
XS116
YKY 2x0,75
Grzałka karteru sprężarki 230VAC
Sterowanie zaworem mocy kompresora 230VAC
Sygnał pracy
Sygnał alarmu
S41
S42
ZMC
CV316
2Y1
Przepustnica komory
BIT 1060 2x0,75
24 VAC
/19.2
Szafa
Obiekt


Przetworniki prądowe
[30/5A],
montować na wejściu
zasilania
PP
L1
L2
L3
N
L01
F16
5A gC
F17
5A gC
F18
CLS6-02/3-DP
6 EMU4-FD1-MB
P1/P1
P2/P2
P3/P3
NC/P2
BND
MA
MB
1K
2K
3K
485+
SLD
1L
2L
3L
485-
TER
X1
COMx
Y1
COMy
N
PE

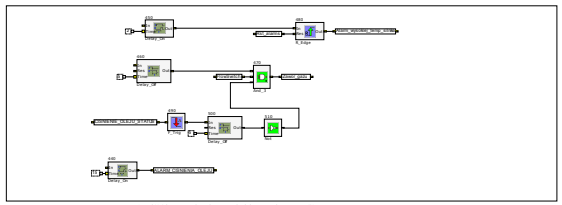

Carel c.pCO MINI
J1
J2
0
G0
Vbat
U1
U2
U3
GND
U4
U5
U6
GND
U7
U8
U9
U10
GND
116
117
118
119
Carel c.pCO MINI
BMS2
J3 Disp.
BMSopto
J4 FBus
J5 CAN
-
+
GND
Komunikacja TCP/IP
L
H
GND
TCP/IP
120
121
122
EMU4 RX-
/17.10
EMU4 RX+
/17.10
TCP/IP
Komunikacja
z inwerterem
mocy
24VAC
8VAC
PE
24VAC
8VAC
PE
XS117
XS118
XS119
XS120
S44
S45
BIT 1060 2x0,75
BIT 1060 2x0,75
GAZ(1)
GAZ(2)
Impulsowy
licznik gazu (1)
Impulsowy
licznik gazu (2)
Szafa
Obiekt


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
KM5 /16.12
24VAC /11.16
0VAC /11.16
-S45
BIT 1000 6x1.5
143
119
120
115
116
114
63
X5
KM4
KM5
24
21
123
125
ROZRUSZNIK
CPU SILNIKA ZASILANIE
KM5 24VAC
KM4 24VAC
A1
A2
DILM32-10
DILM9-10
F15
CLS6-B2
1
2
19L1
21L1
18L1
TER1
THV
TER2
THR
Termostat wentylatora
Termostat grzałki
20L1
22L1
D1
N
PE
G1
150W
Wentylator szafy
Grzałka szafy
L1
N
PE
Szafa
Obiekt

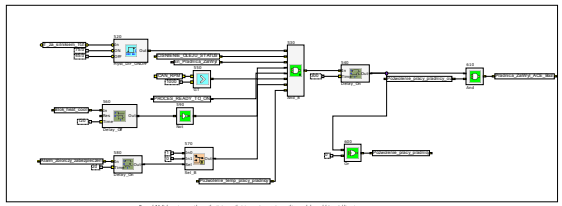

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
24VAC
123
24VAC
FS
/8.5
128
-F7
HP_AL2
/8.6
18
126
HP_AL1
/8.5
19
K17
A1
A2
K18
A1
A2
K18
/7.3
134
135
137
0VAC
0VAC
PE
XS120
XS121
Szafa
Obiekt
S46
YKY 2x0,75
FS
Czujnik przeplywu uKładu chłodzenia
B7
/11.6
/7.4
/3.6
/8.8



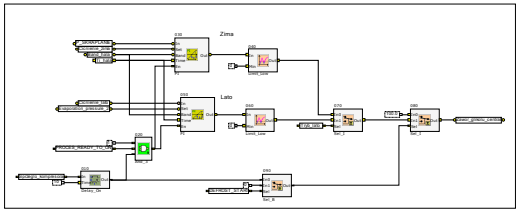
Rysunek 2.1. Sekwencja przyjęcia komendacji sterowania klocka ze sterowaniem trzypozycyjnym część 2



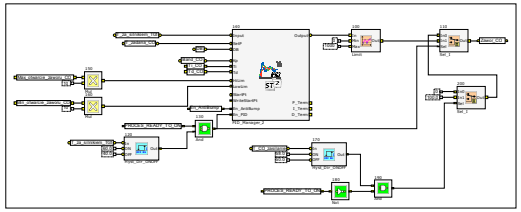
Rysunek 2.2. Sekwencja przyjęcia komendacji sterowania klocka ze sterowaniem trzypozycyjnym część 3



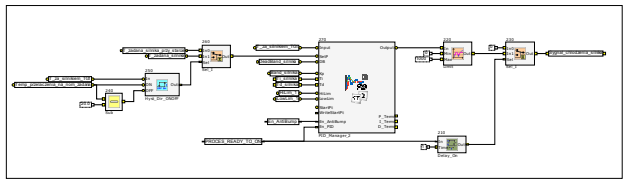
Rysunek 2.3. Sekwencja przyjęcia komendacji sterowania trzypozycyjnego ze sterowaniem komendacyjnym przekładni energii elektrycznej



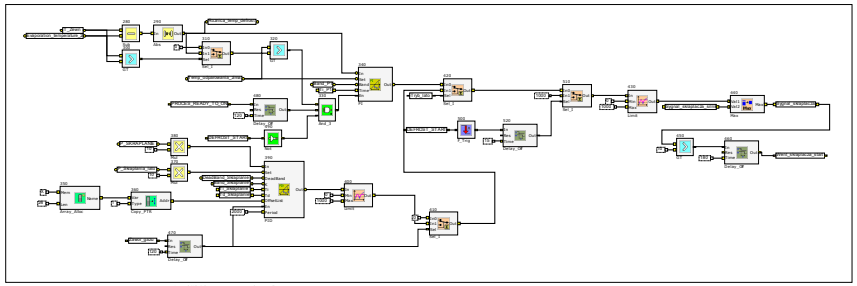
Rysunek 11. Sekwencja sterowania czasowa „widlogu" pasowego



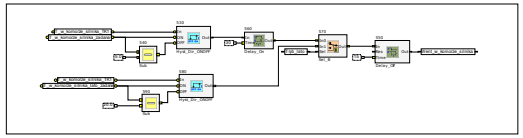
Rysunek 12. Sekwencja sterowania czasowa hydraulicznej silniki 1 napęd.



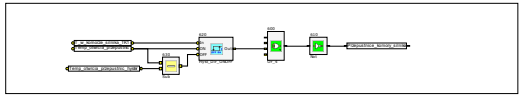
Rysunek 13a. Sekwencja sterowania czasowa załączania silnika 2 napęd.



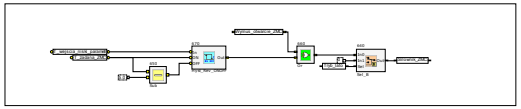
Rysunek 13b. Sekwencja sterowania czasowa przenośnik głowicowy



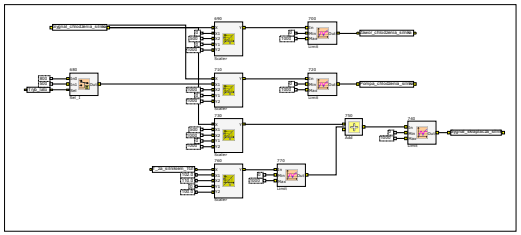
Rysunek 14. Sekwencja sterowania załączania hamulca silnika



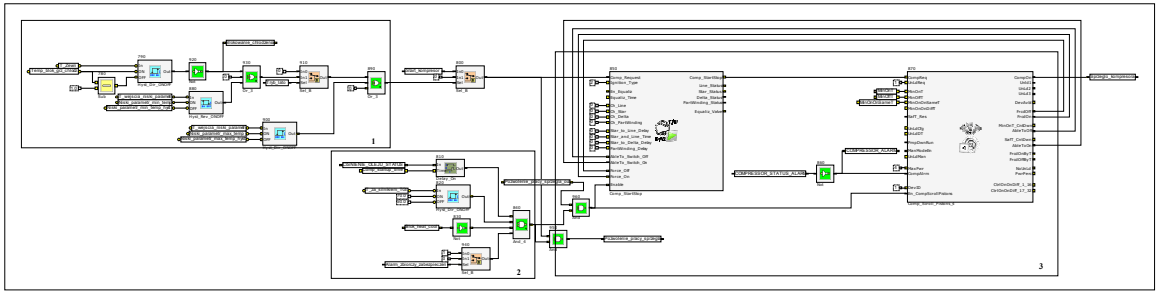
Rysunek 15. Sekwencja sterowania przepustnicą hamulca silnika



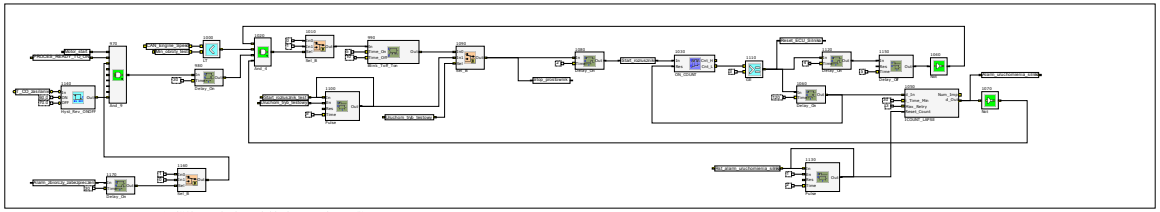
Rysunek 16. Sekwencja sterowania czasowa wentylatora napędu



Rysunek 17. Sekwencja regulacji ciśnienia pompy z wentylatorem w celu utrzymania temperatury PLC



Rysunek 18. Złożona sekwencja sterowania kompresorem



Rysunek 20. Sekwencja pracy komunikacji sterowników silnika spalinowego za sterownikiem typu signature. sqd 1